

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Implementación de procedimientos de calibración en Tacoí S. Coop.



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

IBAI CELIGUETA ERVITI

Director en la empresa: IÑAKI FLAMARIQUE GARNICA

Director en la universidad: ING. LUCAS ÁLVAREZ VEGA

Pamplona, junio de 2015



MEMORIA



A mis padres

A mi hermana

A mis familiares

A mis profesores

**A quienes me ayudaron a ser
mejor persona y ya no están aquí**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia, por todo el apoyo y toda ayuda que me han ofrecido y la paciencia que me han tenido a lo largo de estos años de estudio y, sin los cuales, este trabajo no sería posible. Mila esker, ama, aita eta Ainhoa, benetan.

A mis compañeros de estudio por todo el tiempo que hemos estado juntos intentando hacer de nuestro sueño una realidad, y por haber hecho que esas horas dedicadas al estudio fueran más amenas.

A los tutores que me han guiado en este trabajo: por parte de la universidad, D. Lucas Álvarez Vega; y por parte de Tacoí, D. Iñaki Flamarique Garnica. A los dos, gracias por haber estado siempre dispuestos a ayudarme.

También a todo el personal de Tacoí, que cuando les solicitaba ayuda, me la concedían y me hacían más fácil mi trabajo allí. En especial a D. Juan Mari Ciaurriz por dedicarme parte de su tiempo y preocuparse por mí.

Un profundo agradecimiento a esos profesores que se han esforzado en que aprenda nuevos conceptos y valores. A todos ellos, desde la Ikastola Garcés de los Fayos de Tafalla, pasando por el IES Iturrama y llegando hasta la Universidad Pública de Navarra.

Muchas gracias a todos los que habéis hecho este trabajo posible.

Eskerrik asko lan hau aurrera eramaten lagundu nauzuen guztioi.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS.....	7
RESUMEN.....	8
PALABRAS CLAVE.....	8
ABSTRACT	9
KEYWORDS	9
LABURPENA.....	10
HITZ GAKOAK	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	13
CAPÍTULO II. TEORÍA DE LA CALIBRACIÓN.....	14
1. FACTORES QUE AFECTAN EN LA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DIRECTA.....	15
1.1. Puntos de calibración	15
1.2. División de escala.....	18
1.3. Patrones empleados en la calibración.....	19
1.4. Temperatura	22
1.5. Otros factores	31
1.5.1. Paralelismo.....	31
1.5.2. Planitud	32
1.5.3. Error de Abbe.....	33
2. INCERTIDUMBRE COMBINADA E INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	34
2.1. Incertidumbre combinada, u	34
2.2. Incertidumbre expandida, U	34
2.3. Factor de cobertura, k	34
2.3.1. Distribución rectangular:.....	35
2.3.2. Distribución triangular:	36
2.3.3. Distribución normal:	37
2.3.4. Distribución <i>t-Student</i> :	39
3. GRADOS DE LIBERTAD	42
4. PASOS A SEGUIR EN LA CALIBRACIÓN DE CUALQUIER INSTRUMENTO	44

CAPÍTULO III. CALIBRACIÓN PRÁCTICA EN TACOI S.COOP.	46
1. DIAGRAMA DE NIVELES	47
2. CONTENIDO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	48
3. FORMATO DE LA HOJA DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	49
4. SOFTWARE UTILIZADO EN LA CALIBRACIÓN	51
5. PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN DE TACOI S. COOP.	51
5.1. Procedimiento de calibración de alexómetros.....	52
5.2. Procedimiento de calibración externa	56
5.3. Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos	58
5.4. Procedimiento de calibración de cuñas de medición	63
5.5. Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad	66
5.6. Procedimiento de calibración de llaves dinamométricas	70
5.7. Procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical	73
5.8. Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos ...	76
5.9. Procedimiento de calibración de pies de rey	79
5.10. Procedimiento de calibración de tampones cilíndricos	82
ANEXOS.....	85
ANEXO A: ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA CALIBRACIÓN DE CADA INSTRUMENTO	86
ANEXO B: CÁLCULO DEL ERROR MÁXIMO ADMISIBLE AL CONSIDERAR QUE UNA VARIABLE SIGUE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL EN LUGAR DE UNA DISTRIBUCIÓN t-STUDENT	93
ANEXO C: VALOR DEL FACTOR DE COBERTURA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD DE LA VARIABLE, PARA UN DETERMINADO NIVEL DE CONFIANZA	101
ANEXO D: APLICACIÓN EN EXCEL PARA LA CALIBRACIÓN DE PIES DE REY	104
1. Menú principal	105
2. Configuración de la calibración	106
2.1. Tabla de incertidumbres de los BPLs	107
2.2. Factor de cobertura, k	108
2.3. Temperatura.....	109
2.4. Puntos y repeticiones de la calibración.....	110
2.5. Efectos de los factores que pueden afectar en la calibración.....	111
2.6. Criterio de aceptación.....	112
2.7. Informes.....	113
3. Calibración	114
4. Informe	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. TEORÍA DE LA CALIBRACIÓN.....	14
Figura 1. Medida entre dos valores de la división de escala	18
Figura 2. Gráfico de variación de longitud de BPLs	23
Figura 3. Micrómetro 125-150 mm	24
Figura 4. Micrómetro 300-400 mm	25
Figura 5. Topes para 200-300 mm.....	25
Figura 6. Topes para 300-400 mm.....	25
Figura 7. Contribución de parámetros del termómetro en la incertidumbre típica de ΔT	28
Figura 8. Influencia de la deriva del termómetro en la incertidumbre típica.....	29
Figura 9. u_a en función de L	30
Figura 10. La luz no pasa	31
Figura 11. La luz pasa	31
Figura 12. Objeto supuestamente plano	32
Figura 13. Rugosidad del objeto supuestamente plano	32
Figura 14. Delimitación de la rugosidad del objeto supuestamente plano	32
Figura 15. Error de Abbe.....	33
Figura 16. Ángulo β en el error de Abbe	33
Figura 17. Densidad de probabilidad de una distribución rectangular	35
Figura 18. Densidad de probabilidad de una distribución triangular.....	36
Figura 19. Densidad de probabilidad de una distribución normal	37
Figura 20. Función de distribución de probabilidad de una distribución normal	38
Figura 21. 1 gdl.....	40
Figura 22. 1 gdl.....	40
Figura 23. 3 gdl.....	40
Figura 24. 3 gdl.....	40
Figura 25. 5 gdl.....	40
Figura 26. 5 gdl.....	40
Figura 27. 10 gdl.....	41
Figura 28. 10 gdl.....	41
Figura 29. 50 gdl.....	41
Figura 30. 50 gdl.....	41
Figura 31. 1000 gdl.....	41

Figura 32. 1000 gdl.....	41
CAPÍTULO III. CALIBRACIÓN PRÁCTICA EN TACOI S.COOP.	46
Figura 33. Diagrama de niveles de los instrumentos de Tacoi S. Coop.	47
Figura 34. Hoja 1 de la ficha de calibración.....	49
Figura 35. Hoja 2 de la ficha de calibración.....	50
Figura 36. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros.....	52
Figura 37. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros.....	53
Figura 38. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros.....	54
Figura 39. Ejemplo de calibración de un alexómetro	55
Figura 40. Hoja 1/2 del procedimiento de calibración de elementos de calibración externa	56
Figura 41. Hoja 2/2 del procedimiento de calibración de elementos de calibración externa	57
Figura 42. Hoja 1/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos	58
Figura 43. Hoja 2/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos	59
Figura 44. Hoja 3/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos	60
Figura 45. Hoja 4/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos	61
Figura 46. Ejemplo de calibración de un comparador mecánico.....	62
Figura 47. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición	63
Figura 48. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición	64
Figura 49. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición	65
Figura 50. Hoja 1/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad.....	66
Figura 51. Hoja 2/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad.....	67
Figura 52. Hoja 3/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad.....	68
Figura 53. Hoja 4/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad.....	69
Figura 54. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas	70
Figura 55. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas	71
Figura 56. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas	72
Figura 57. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical.....	73
Figura 58. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical.....	74
Figura 59. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical.....	75
Figura 60. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos.....	76
Figura 61. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos.....	77
Figura 62. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos.....	78

Figura 63. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de pies de rey	79
Figura 64. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de pies de rey	80
Figura 65. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de pies de rey	81
Figura 66. Hoja 1/3 del procedimiento de tampones cilíndricos	82
Figura 67. Hoja 2/3 del procedimiento de tampones cilíndricos	83
Figura 68. Hoja 3/3 del procedimiento de tampones cilíndricos	84
ANEXOS.....	85
Figura 69. $k_p - p$ para una distribución normal $N(0,1)$	94
Figura 70. Gdl necesarios para no alcanzar el 5% de error en la consideración de una distribución normal en lugar de t-Student	100
Figura 71. Habilitar contenido.....	105
Figura 72. Menú Principal.....	105
Figura 73. Configuración.....	106
Figura 74. Tabla BPLs.....	107
Figura 75. Factor de cobertura, Welch-Satterthwaite	108
Figura 76. Factor de cobertura, manual	108
Figura 77. Temperatura	109
Figura 78. Aplicar tolerancia de temperatura	109
Figura 79. Considerar el efecto de la temperatura.....	109
Figura 80. Selección de puntos automática	110
Figura 81. Selección de puntos manual	110
Figura 82. Efecto de factores característicos	111
Figura 83. Criterio de aceptación	112
Figura 84. Máximo desvío al nominal.....	112
Figura 85. Copiar dirección de la carpeta de los informes	113
Figura 86. Escribir dirección de la carpeta de los informes	113
Figura 87. Iniciar calibración.....	114
Figura 88. Hoja de calibración	114
Figura 89. Datos iniciales	115
Figura 90. Características del elemento.....	115
Figura 91. Grado BPLs.....	115
Figura 92. Datos previos a la calibración	116
Figura 93. Botón “Comenzar calibración”	116
Figura 94. Mensaje para empezar la calibración	116
Figura 95. Mensaje de división de escala no definida	117
Figura 96. Mensaje de longitud no definida	117

Figura 97. Mensaje de calidad de BPLs no definida	117
Figura 98. Mensaje puntos automáticos	118
Figura 99. Mensaje de 10 puntos y reiteraciones máximas	118
Figura 100. Selección de BPLs.....	119
Figura 101. Anotación de mediciones	119
Figura 102. Resultados de las mediciones.....	119
Figura 103. Botón “Generar informe”	120
Figura 104. Hoja 1 del informe	121
Figura 105. Hoja 2 del informe	122
Figura 106. Hoja 3 del informe	123

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. TEORÍA DE LA CALIBRACIÓN.....	14
Tabla 1. Incertidumbre debida a la repetibilidad con resultados directos	17
Tabla 2. Incertidumbre debida a la repetibilidad con desviaciones al nominal	17
Tabla 3. Incertidumbre al combinar varios BPLs	21
Tabla 4. ΔL acero	23
Tabla 5. ΔL carburo de tungsteno.....	23
Tabla 6. Efecto de los topes en ΔL de los micrómetros 200-300 mm	26
Tabla 7. Efecto de los topes en ΔL de los micrómetros 300-400 mm	26
Tabla 8. u_α en función de L	30
Tabla 9. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución rectangular	35
Tabla 10. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución triangular.....	36
Tabla 11. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución normal.....	38
CAPÍTULO III. CALIBRACIÓN PRÁCTICA EN TACO I S.COOP.	46
ANEXOS.....	85
Tabla 12. $k_p - p$ para una distribución normal $N(0,1)$	94
Tabla 13. Error en $p=68,27\%$	95
Tabla 14. Error en $p=70\%$	95
Tabla 15. Error en $p=80\%$	96
Tabla 16. Error en $p=90\%$	96
Tabla 17. Error en $p=95\%$	97
Tabla 18. Error en $p=95,45\%$	97
Tabla 19. Error en $p=97,5\%$	98
Tabla 20. Error en $p=99\%$	98
Tabla 21. Error en $p=99,73\%$	99
Tabla 22. Error en $p=99,99\%$	99
Tabla 23. Grados de libertad al alcanzar el 5% de error.....	100
Tabla 24. Factor de cobertura en función de los grados de libertad y la confianza.....	102
Tabla 25. Tipos de confianzas y su factor de cobertura	103

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presentará una propuesta para la implementación de unos procedimientos de calibración referidos, especialmente, a los instrumentos de medición directa que posee la empresa en la que he realizado prácticas curriculares: Tacoí S. Coop.

La propuesta surge a raíz de la necesidad de la empresa por renovar las normativas ISO 9001 e ISO/TS 16949, que le otorgan la capacidad y competitividad necesarias para seguir trabajando con sus clientes.

Primero, se analizarán los fundamentos teóricos de los factores que afectan en una calibración, y se verá si realmente es indispensable tenerlos en cuenta.

Una vez se haya visto la parte teórica, se realizarán los procedimientos de calibración, tomando como referencia la teoría descrita con anterioridad y las conclusiones sacadas de la misma.

Al trabajo escrito se adjuntará, además, una aplicación en Excel que permite calcular las incertidumbres y mostrará si el elemento calibrado es apto o no apto.

PALABRAS CLAVE

Procedimientos de calibración, instrumentos, medición, incertidumbre.

ABSTRACT

In the following work a proposal for implementing calibration procedures will be presented. These procedures are specially referred to direct measurement instruments owned by the company where I made curricular practices: Tacoí S. Coop.

The proposal had been originated because of the company's need to renew ISO 9001 and ISO/TS 16949 standards, which give it the capacity and competitiveness necessary to continue working with its customers.

At first, the theoretical basis of the factors that affect in the calibration will be studied, and we will see if they are really essential or, by contrast, can be neglected.

Once the theoretical part has been seen, calibration procedures will be made with reference to the theory described above and the conclusions drawn from it.

To the written work will also be appended an application in Excel to calculate the uncertainties and show if the calibrated element is fit or unfit.

KEYWORDS

Calibration procedures, instruments, measurement, uncertainty.

LABURPENA

Hurrengo lan honetan praktiketan egon naizen enpresak dituen neurketa zuzeneko instrumentuei (nagusiki) dagokien kalibraketa prozedurak ezartzeko proposamena aurkeztuko da.

Proposamen hori enpresak ISO 9001 eta ISO/TS 16949 arauak berritzeko duen beharragatik dator. Arau horiek bere bezeroekin lan egiten jarraitzeko behar dituen ahalmen eta lehiakortasuna ematen dizkiote.

Lehenengo eta behin, edozein kalibraketan eragiten duten faktore nagusien oinarri teorikoak aztertuko dira, eta benetan kontuan hartzekoak diren ikusiko da.

Atal teorikoa ikusi ondoren, kalibraketa prozedurak egingo dira, lehen azaldutako teoria eta hartatik ateratako ondorioak erreferentzia gisa hartuz.

Halaber, lan idatziari Excel-ean egindako aplikazio bat erainstuko da, zeina ziurgabetasunak kalkulatzeko dituen eta kalibratutako elementua gaia edota ez-gaia den erakusten duen.

HITZ GAKOAK

Kalibraketa prozedurak, instrumentu, neurketa, ziurgabetasun.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Piedras, palos y huesos; esa era toda la tecnología que existía en el Paleolítico, hace casi 3 millones de años. Es evidente que desde entonces los tiempos han cambiado. El ser humano ha evolucionado, y con él, sus herramientas también lo han hecho.

Al principio, se bastaban contando con los dedos de las manos, dando origen a lo que posteriormente definiría el sistema decimal que hoy se usa a lo largo de todo el mundo (aunque existiese el sistema vigesimal, originado de contar los dedos de las manos y de los pies, apreciable en los idiomas francés y euskera, por ejemplo).

Sin embargo, hacía falta también un sistema que midiese longitudes, para poder delimitar terrenos y distancias. Aparecieron así numerosas unidades de medición, relacionadas con medidas del cuerpo humano: dedo, pulgada, palma, pie, paso, braza, vara... y surgió la necesidad de establecer relaciones entre ellas, por lo que se hicieron tablas de equivalencias.

Poco a poco el ser humano comenzó a expandirse y a viajar, dando lugar a otra necesidad: la de crear un sistema que unificase los subsistemas existentes. Para ello, se adoptó el Sistema Métrico Decimal, en 1875, que posteriormente (en 1960) daría lugar al Sistema Internacional de Unidades, más conocido simplemente como Sistema Internacional, o por su abreviación, SI.

En este sistema (SI), el metro es la unidad principal de longitud, y es definido como la distancia que recorre la luz en el vacío durante un intervalo de $1/299.792.458$ de segundo.

Aunque el metro sea la unidad principal de longitud, en metrología es frecuente emplear el milímetro ($1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$) y el micrómetro ($1000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$).

Como se aprecia, el ser humano ha evolucionado tanto tecnológicamente que ahora es posible medir longitudes con mucha precisión, por lo que el mercado cada vez demanda mayor precisión, aplicando tolerancias tan bajas como pueden ser unos escasos micrómetros.

En este trabajo se hablará constantemente de dicha precisión, que vendrá delimitada por una incertidumbre.

Utilizaré la parte teórica de la calibración para llevar a cabo los procedimientos de calibración de la empresa en la que he realizado las prácticas: Tacoí S.Coop.

Pero, antes de nada, quisiera poner en contexto este trabajo y explicar el porqué del mismo.

2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Tacoí S.Coop. (en adelante, Tacoí) es una sociedad cooperativa sita en Tafalla (Navarra) que cuenta con 70 trabajadores, varios de ellos socios. Se dedica a diseñar, fabricar y desarrollar piezas de índole industrial para sus clientes.

Las exigencias del mercado y de sus clientes han crecido hasta el punto en que la empresa ha necesitado certificar la calidad de sus productos. Para ello, necesitó contar con las certificaciones ISO 9001 e ISO/TS 16949, las cuales le fueron otorgadas en la primera auditoría en el año 2012.

Este año en el que me ha tocado formar parte de Tacoí, se debían renovar ambos certificados, por lo que había que terminar de solventar las discrepancias de la auditoría anterior para renovarlos.

Para ello, fui asignado a formar parte del equipo de Calidad y realizar los procedimientos de calibración de la empresa, entre otras tareas.

Comencé a investigar sobre factores que influían en la calibración y cómo debían tratarse, y a ver ejemplos de procedimientos de otras empresas u organismos (especialmente, del Centro Español de Metrología).

Poco a poco fui aprendiendo y conociendo más acerca de la calibración, por lo que decidí comenzar a redactar el trabajo que se verá a continuación.

CAPÍTULO II. TEORÍA DE LA CALIBRACIÓN

1. FACTORES QUE AFECTAN EN LA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DIRECTA

Varios son los factores que tienen relevancia a la hora de conocer la incertidumbre de estos instrumentos: puntos tomados, división de escala del instrumento, incertidumbres de los patrones empleados, temperatura, posición del instrumento respecto al mensurando, material, persona que realiza la calibración...

A continuación expondré los más relevantes y estudiaré si realmente contribuyen lo suficiente en la incertidumbre como para no ser despreciados.

1.1. Puntos de calibración

Como una calibración ha de ser lo más parecido posible a una medición que se realice después con ese instrumento, hay que escoger debidamente los puntos en los cuales se realizarán las mediciones, ya que no sería necesario tomar puntos que abarquen todo el rango de medida cuando haya un instrumento que se utilice única- y exclusivamente para medir un rango limitado.

Por ejemplo, no es conveniente calibrar un pie de rey cuyo alcance sea de 300 mm tomando diversos puntos a lo largo de toda su longitud (0-50-100-150-200-250-300, por ej.) si solamente se utiliza para medir longitudes comprendidas entre 150 y 200 mm. En ese caso, convendría realizar una calibración distinta, donde se tomen puntos comprendidos en ese intervalo (140-150-160-170-180-190-200-210, por ej.). Así, podremos concluir con mayor certeza si el instrumento es (o no) válido para la utilización que le demos.

En el caso de que se conociera que el instrumento se emplea para realizar medidas en todo su rango, se deberían repartir los puntos de calibración equidistantemente, intentando que estos ocupen la mayor parte posible del alcance del instrumento.

Una vez conocido cuál es el caso en el que nos encontramos, podremos definir cuántos y cuáles serán esos puntos que deberemos medir, así como cuántas veces se realizará la medición de cada uno de ellos. Esa elección queda a disposición del encargado de la calibración. Por mi parte, propondré un modelo posteriormente.

Contribución al error y a la incertidumbre:

Sin duda alguna, el factor que más afecta en la calibración de un instrumento es la toma de medidas.

De las medidas tomadas se sacarán dos resultados importantes: la corrección de calibración y la incertidumbre debida a la repetibilidad. Para poder realizar calcular dichos resultados, será necesario conocer primero en cuántos puntos se medirán (I puntos ¹) y cuántas veces se reiterarán las medidas en cada uno de ellos (J reiteraciones).

¹ Se empleará el uso de las mayúsculas (I, J) para hacer referencia a la cantidad de puntos y reiteraciones que se tomarán, respectivamente, y el uso de las minúsculas (i, j) para referirse a la medición en la que nos encontramos. Así, si estamos tomando la 3ª medida de un bloque patrón de 20 mm en una calibración con un total de 5 puntos y 7 repeticiones por cada punto: $I=5$; $J=7$; $x_{i,j}=x_{20,3}$

A continuación se muestran las fórmulas que se emplean:

- Corrección de calibración en el punto i, Cc_i :

$$Cc_i = x_{0,i} - \bar{x}_i$$

$x_{0,i}$: valor nominal del patrón empleado en el punto i

\bar{x}_i : valor medio de las J reiteraciones en el punto i

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^J x_{i,j}$$

$x_{i,j}$: valor medido correspondiente a la j-ésima reiteración del punto i

La corrección de calibración indica la desviación de la media respecto del valor nominal, por lo que si esta es significativa y el instrumento tiene la posibilidad de realizar una corrección, se ajustará y se volverá a realizar la calibración.

Por lo general, interesa la corrección de calibración global; esto es, la media de todas las correcciones de calibración.

- Incertidumbre debida a la repetibilidad en el punto i, $u_{s,i}$:

Esta sigue una distribución de probabilidad normal, por lo que su incertidumbre se calcula de la siguiente manera:

$$u_{s,i} = \frac{S_i}{\sqrt{n}}$$

S_i : desviación típica del punto i.

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^J (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2}$$

n: cantidad de repeticiones en un mismo punto i.

Ejemplo 1:

Para calibrar un micrómetro centesimal cuyo rango de medida es 0-25 mm, se miden cuatro puntos, cinco veces cada uno:

Nominal, x ₀ (mm)	Resultados, x _i (mm)						Media, x _{med,i} (mm)	Desviación típica, S (mm) *	Corrección de calibración, Cc (mm)	Incertidumbre debida a la repetibilidad, u _s (mm) *
5	5,01	5,02	5,01	5,00	5,01		5,01	0,0082	-0,01	0,0041
10	10,00	10,02	10,01	10,01	10,02		10,01	0,0082	-0,01	0,0041
15	14,99	15,01	15,01	15,00	15,01		15,0025	0,0096	-0,0025	0,0048
20	20,02	20,03	20,01	20,02	20,01		20,02	0,0082	-0,02	0,0041
									-0,010625	0,0048

*Se redondea a 4 decimales para facilitar su lectura.

↓	↓
-0,01	0,01

Tabla 1. Incertidumbre debida a la repetibilidad con resultados directos

Al final del cálculo de la corrección de calibración y de la incertidumbre se redondea a la división de escala (en este caso, centesimal).

Como se puede apreciar, la corrección de calibración global es $C_c = -0,01$ mm, por lo que habría que ajustar el instrumento haciendo que el nuevo “cero” sea 0,01.

En el caso de los micrómetros centesimales comunes, corregir el “cero” es sencillo, ya que solo se trata de aflojar un tornillo, poner el nuevo “cero” y después volverlo a apretar.

En el caso de los micrómetros digitales (estos suelen ser milésimales) es todavía más fácil, pues consiste en llevar el micrómetro al “cero” y darle a un botón (generalmente, ORIGIN).

También podrían haberse escrito, en lugar de los resultados, las desviaciones al nominal:

Nominal, x ₀ (mm)	Desviaciones al nominal, x _i (mm)						Media, x _{med,i} (mm)	Desviación típica, S (mm) *	Corrección de calibración, Cc (mm)	Incertidumbre debida a la repetibilidad, u _s (mm) *
5	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01		0,01	0,0082	-0,01	0,0041
10	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02		0,01	0,0082	-0,01	0,0041
15	-0,01	0,01	0,01	0,00	0,01		0,0025	0,0096	-0,0025	0,0048
20	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01		0,02	0,0082	-0,02	0,0041
									-0,010625	0,0048

*Se redondea a 4 decimales para facilitar su lectura.

↓	↓
-0,01	0,01

Tabla 2. Incertidumbre debida a la repetibilidad con desviaciones al nominal

1.2. División de escala

Como hemos visto en el [Ejemplo 1](#), los datos de entrada y los resultados finales se dan redondeados a la división de escala. La razón es obvia: se puede asegurar que una medida está comprendida entre dos valores de su división de escala, pero no se puede asegurar que lo está en un intervalo más pequeño; es decir, la resolución del instrumento limita la medición.

Como ejemplo, se muestra la siguiente fotografía ([Figura 1](#)), donde la medida resulta estar entre dos valores de la división de escala:



Figura 1. Medida entre dos valores de la división de escala

Se puede apreciar que en ocasiones es complejo definir un valor de manera objetiva. Por ello, la persona que esté utilizando el instrumento deberá decidir, según su criterio, cuál es el valor de la medida, redondeando hacia arriba o hacia abajo.

Generalmente, si la medida se encuentra más cercana a la marca inferior, se redondeará hacia abajo; y si se encuentra próxima a la superior, hacia arriba. El problema aparece cuando está suficientemente centrada como para dudar del valor que se va a anotar.

Por ello, como no se puede asegurar que la lectura de una medición es un valor exacto, sino que se encuentra entre dos valores definidos por el instrumento, habrá de tenerse en cuenta la incertidumbre debida a la división de escala.

Por definición, esta es:

$$u_E = \frac{E}{\sqrt{12}}$$

E: división de escala.

Como en la fórmula se puede ver (y como es lógico), a mayor división de escala, mayor será la incertidumbre del instrumento y, por tanto, menor su precisión.

1.3. Patrones empleados en la calibración

Los patrones que se utilicen en el proceso de calibración deberán estar debidamente calibrados, por un laboratorio metrológico acreditado.

Tras enviar a calibrar los patrones a un laboratorio acreditado y después de que este los haya calibrado, hará entrega de un certificado de calibración, en el cual se podrán leer las incertidumbres de cada patrón.

Si la empresa no posee patrones y decide comprarlos, también vendrán con su certificado de calibración, por lo que no hará falta enviarlos a ningún laboratorio.

Sin embargo, estas calibraciones no son permanentes, por lo que deberán asignárseles fechas de nueva calibración, y será entonces cuando se envíen a un laboratorio acreditado para posteriormente recibirlos con su nuevo (y único válido) certificado de calibración.

Estos patrones son calibrados comparándolos con otros de mayor grado, que también son comparados con otros de un nivel todavía más alto. Así pues, las incertidumbres de los patrones anteriores se van sumando (suma cuadrática), haciendo que la precisión de los patrones posteriores se vea disminuida.

Aun así, los patrones comerciales existentes poseen unas incertidumbres muy pequeñas (menores de 1 μm para bloques patrón longitudinales pequeños, por ejemplo), pero que no deberíamos despreciar.

Los bloques patrones longitudinales (BPLs a partir de ahora) son paralelepípedos utilizados en metrología que materializan, con mucha precisión, una longitud determinada. Pero como acabo de redactar, tienen una incertidumbre que, aunque sea pequeña, deberemos tener en cuenta.

Si se materializa una medida con varios BPLs, se calculará la incertidumbre debida a los patrones con la fórmula siguiente:

$$u_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{U_{0,i}}{k_i} \right)^2}$$

$U_{0,i}$: incertidumbre expandida del BPL i-ésimo

k_i : factor de cobertura correspondiente a dicha incertidumbre expandida

Como vemos, la incertidumbre correspondiente al apilamiento de BPLs es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres de cada BPL apilado. Por tanto, a la hora de realizar la calibración, se intentará medir una longitud utilizando los menos BPLs posibles, ya que el empleo de varios bloques incurrirá en una incertidumbre más grande y, por tanto, una precisión menor.

Ejemplo 2:

Tras enviar a calibrar a un laboratorio unos bloques patrón longitudinales, los devolvieron con un certificado donde aparecía la fórmula de la recta que definía la incertidumbre expandida de cada uno de ellos, con un factor de cobertura $k=2$:

$U_0 (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot L$ (μm), donde L hace referencia a la longitud de cada BPL, expresada en mm.

Así, se quería medir la longitud de 30 mm, por lo que se experimentó qué sería mejor: poner un BPL de 30 mm; o dos bloques, donde uno fuera de 10 mm y otro de 20 mm; o tres bloques, de 3 mm, 7 mm y 20 mm.

- Utilizando el bloque de 30 mm, la incertidumbre de este era:

$$U_{0,30} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 30 = \underline{0,1390 \mu\text{m}}$$

- Empleando uno de 10 mm y otro de 20 mm, la incertidumbre era:

$$U_{0,10} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 10 = 0,113 \mu\text{m}$$

$$U_{0,20} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 20 = 0,126 \mu\text{m}$$

$$U_{0,30} (k=2) = \sqrt{0,113^2 + 0,126^2} = \underline{0,1693 \mu\text{m}}$$

- Empleando uno de 3 mm, otro de 7 mm y otro de 20 mm, la incertidumbre era:

$$U_{0,3} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 3 = 0,1039 \mu\text{m}$$

$$U_{0,7} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 7 = 0,1091 \mu\text{m}$$

$$U_{0,20} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 20 = 0,126 \mu\text{m}$$

$$U_{0,30} (k=2) = \sqrt{0,1039^2 + 0,1091^2 + 0,126^2} = \underline{0,1964 \mu\text{m}}$$

Se observa que, efectivamente, la incertidumbre aumenta si se aumenta el número de bloques que materializan una misma longitud.

Ejemplo 3:

En el caso de que fuera necesario tener que apilar bloques, la duda que puede entrar es si es mejor apilar BPLs cuyas longitudes nominales estén lo más cerca posible o si, por el contrario, sería mejor apilar los que estén muy distanciados. Es decir, si se desea materializar una longitud de 10 mm, ¿habría menos incertidumbre utilizando BPLs de 6 mm y 4 mm, o de 9 mm y 1 mm?

Supongamos que la recta de incertidumbre es la misma que en el ejercicio anterior:

$U_0 (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot L$ (μm), donde L hace referencia a la longitud de cada BPL, expresada en mm.

Calculamos la incertidumbre de los bloques de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 mm:

$$U_{0,1} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 1 = 0,1013 \mu\text{m}$$

$$U_{0,2} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 2 = 0,1026 \mu\text{m}$$

$$U_{0,3} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 3 = 0,1039 \mu\text{m}$$

$$U_{0,4} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 4 = 0,1052 \mu\text{m}$$

$$U_{0,5} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 5 = 0,1065 \mu\text{m}$$

$$U_{0,6} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 6 = 0,1078 \mu\text{m}$$

$$U_{0,7} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 7 = 0,1091 \mu\text{m}$$

$$U_{0,8} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 8 = 0,1104 \mu\text{m}$$

$$U_{0,9} (k=2) = 0,1 + 0,0013 \cdot 9 = 0,1117 \mu\text{m}$$

Si las incertidumbres se sumasen normalmente, todas las opciones darían la misma incertidumbre para 10 mm: 0,213 μm .

Pero ya sabemos que no es así, sino que la incertidumbre total es la raíz de la suma de la incertidumbre de cada uno al cuadrado.

Procedo ahora a determinar la relevancia de la elección de bloques:

BPLs utilizados	$U_0 (k=2) (\mu\text{m})$
1+9	0,15079
2+8	0,15071
3+7	0,15066
4+6	0,15062
5+5	0,15061

Tabla 3. Incertidumbre al combinar varios BPLs

Como se puede apreciar, es ligeramente mejor que sean de valores cercanos, pero se podría decir que utilizar unos u otros bloques no influye, pues se ve que apenas varían unas milésimas de micrómetro.

1.4. Temperatura

La temperatura juega un papel fundamental en la metrología, ya que como es sabido, la mayoría de materiales se dilatan si se les aplica una diferencia de temperatura positiva; esto es, si se calientan.

Los bloques patrones longitudinales son calibrados a una temperatura de 20 °C, aproximadamente, por lo que tanto el instrumento como los bloques deberán permanecer cierto tiempo en una sala a 20 °C, a fin de que se estabilicen térmicamente, hasta que la persona que vaya a calibrar considere oportuno.

Como es técnicamente imposible tener una sala a exactamente 20 °C, en los procedimientos de calibración se aplica una tolerancia, como puede ser $\pm 2^\circ\text{C}$, o incluso $\pm 1^\circ\text{C}$ si se tiene una sala con un mejor sistema de climatización.

Es necesario que la sala esté lo más cerca posible de 20 °C, pues si no, la longitud de los bloques patrón aumentaría, además de la del instrumento.

Muchos de los bloques patrón longitudinales empleados en los talleres son de acero (aunque también pueden serlo de cerámica, pero su coste es más elevado). El acero, dependiendo de su composición, tendrá un coeficiente de dilatación térmica u otro; pero, por lo general, se emplea el siguiente:

$$\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}.$$

El carburo de tungsteno (material cerámico que también es utilizado para fabricar BPLs), tiene un coeficiente de dilatación térmica mucho menor que el del acero, y esa es una de las características que lo hace tan interesante para la fabricación de estos. Además, posee una conductividad térmica menor:

Acero: Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$

Conductividad térmica: $k = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$

Carburo de tungsteno: Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha = 0,02 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$

Conductividad térmica: $k = 1,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,2$

Así, sabiendo la longitud inicial del bloque a 20 °C, se podrá conocer la nueva longitud que este tendrá si se le aplica una diferencia de temperatura:

$$\frac{\Delta L}{L_i} = \alpha \cdot \Delta T$$

En la siguiente tabla compararé el acero con el carburo de tungsteno, viendo cuánto se dilatan BPLs de distintas longitudes por cada 1 °C que se le suma ($\Delta L = 1^\circ\text{C}$):

ACERO $\alpha=11,5 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$	
L (mm)	$\Delta L (\mu\text{m})$
1	0,012
2	0,023
3	0,035
4	0,046
5	0,058
6	0,069
7	0,081
8	0,092
9	0,104
10	0,115
20	0,230
30	0,345
60	0,690
100	1,150
150	1,725
300	3,450

Tabla 4. ΔL acero

CARBURO DE TUNGSTENO $\alpha=0,02 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$	
L (mm)	$\Delta L (\mu\text{m})$
1	0,00002
2	0,00004
3	0,00006
4	0,00008
5	0,00010
6	0,00012
7	0,00014
8	0,00016
9	0,00018
10	0,00020
20	0,00040
30	0,00060
60	0,00120
100	0,00200
150	0,00300
300	0,00600

Tabla 5. ΔL carburo de tungsteno

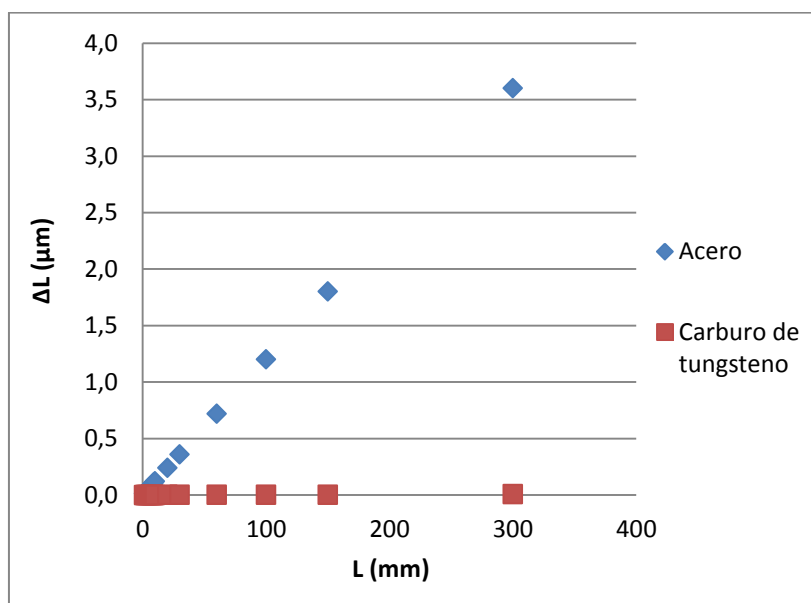


Figura 2. Gráfico de variación de longitud de BPLs

Vemos que si tenemos un BPL de acero 300 mm, este se dilatará 3,6 μm por cada incremento de 1 $^{\circ}\text{C}$. Este hecho puede suponer un problema y se puede evitar comprando bloques de carburo de tungsteno en lugar de bloques de acero.

Imaginemos ahora que en una sala de calibración en lugar de 20 $^{\circ}\text{C}$, la temperatura es de 22 $^{\circ}\text{C}$. En este supuesto, el bloque de 300 mm de acero se habrá dilatado 7,2 μm .

Aparte del bloque utilizado (o bloques apilados utilizados), el instrumento también se dilatará.

Cada instrumento posee unas características especiales, pues no todos están hechos de los mismos materiales ni tienen la misma longitud.

Por ejemplo, los micrómetros poseen una barra cilíndrica que se desplaza a lo largo de un eje. Esta barra móvil tendrá también una dilatación, y esta será mayor cuanto más larga sea la barra.

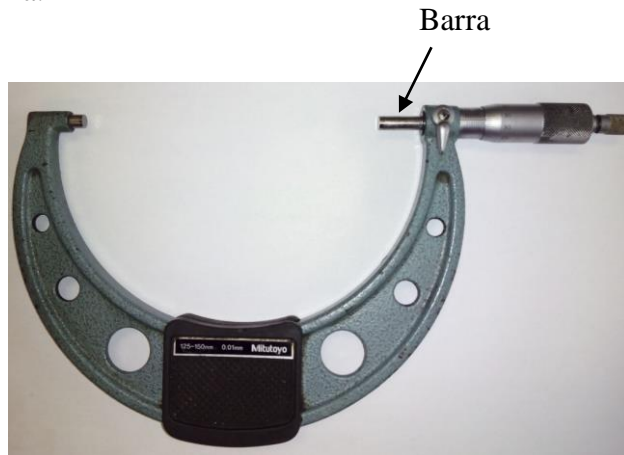


Figura 3. Micrómetro 125-150 mm

Según he visto en la empresa en la que he estado, para micrómetros pequeños y medianos (hasta 200 mm) las barras miden 91,3 mm, mientras que en los micrómetros más grandes miden 115,3 mm (ambas barras medidas a 20 °C). Por lo tanto, por cada grado Celsius que se caliente sobre los 20 °C, en los primeros la barra se dilatará 1,096 μm , mientras que en los segundos lo hará 1,384 μm (26,3% más).

Además, los micrómetros cuyo rango de medida es 200-300 mm y los de rango 300-400 mm, se acompañan de unos topes de acero al otro lado de la barra. Estos topes son de diferentes tamaños, para materializar longitudes de 200-225 mm, 225-250 mm, 250-275 mm y 275-300 mm en el caso de los de rango 200-300 mm; y 300-325 mm, 325-350 mm, 350-375 mm y 375-400 mm en el caso de los de rango 300-400 mm.

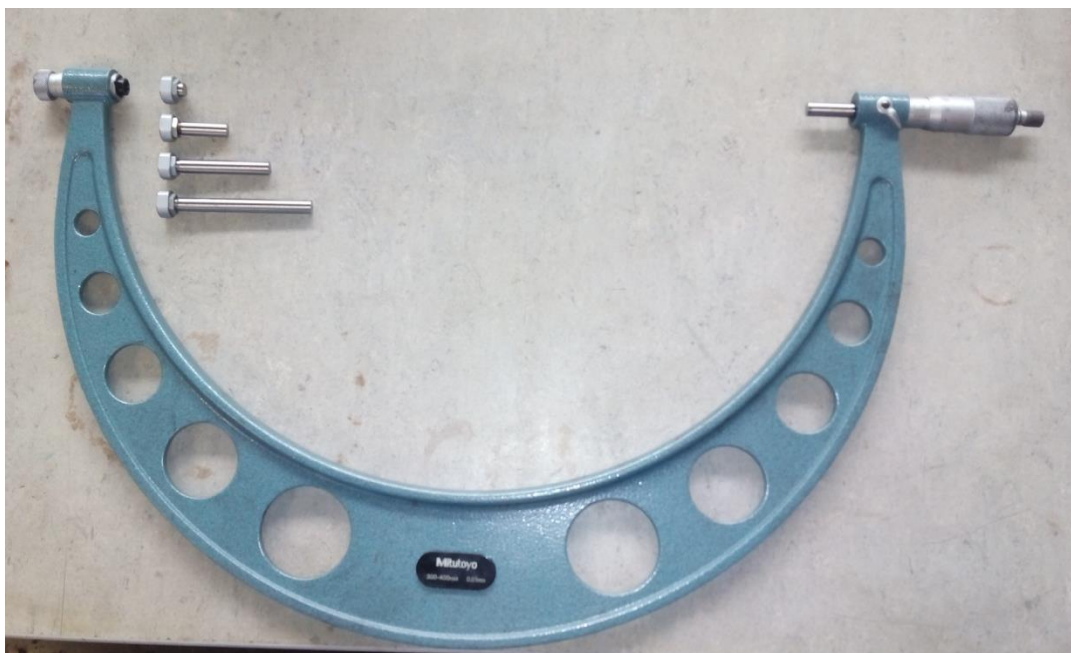


Figura 4. Micrómetro 300-400 mm



Figura 5. Topes para 200-300 mm



Figura 6. Topes para 300-400 mm

Como es sabido, los topes más grandes se dilatarán más (estos serán los topes necesarios para poder materializar longitudes comprendidas entre 200 y 225 mm), pero serán para materializar longitudes menores, por lo que habría que ver cuánto varía la longitud total.

Para estos micrómetros especiales (rangos de 200-300 mm y 300-400 mm), estudiaré en qué intervalo afecta más la dilatación térmica. Para ello, supondré que tanto los topes, como los BPLs y como la barra tienen el mismo coeficiente de dilatación térmica: $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$.

Al aumentar la temperatura, tanto los topes como los BPLs se expanden haciendo que la medida que se leerá desde el micrómetro sea mayor, mientras que la barra se expande hacia el lado contrario, por lo que daría una medida inferior. Así, las variaciones del tope y de los BPLs empleados se suman y a esa suma se le resta la variación de la barra del micrómetro.

A continuación se verá cuánto aumentaría la longitud total en cada rango de ambos micrómetros, para un aumento de 1 °C, y tomando como referencia medidas a 20 °C.

Micrómetro de rango 200-300 mm:

Rango de medida (mm)	Longitud nominal BPL (mm)	ΔL del BPL utilizado (μm)	Longitud tope (mm)	ΔL del tope utilizado (μm)	Longitud barra móvil (mm)	ΔL de la barra móvil (μm)	ΔL total (μm)
200-225 mm	200	2,4	75,722	0,909	115,3	1,384	1,925
	225	2,7					2,225
225-250 mm	225	2,7	50,748	0,609			1,925
	250	3					2,225
250-275 mm	250	3	25,73	0,309			1,925
	275	3,3					2,225
275-300 mm	275	3,3	0,712	0,009			1,925
	300	3,6					2,225

Tabla 6. Efecto de los topes en ΔL de los micrómetros 200-300 mm

Micrómetro de rango 300-400 mm:

Rango de medida (mm)	Longitud nominal BPL (mm)	ΔL del BPL utilizado (μm)	Longitud tope (mm)	ΔL del tope utilizado (μm)	Longitud barra móvil (mm)	ΔL de la barra móvil (μm)	ΔL total (μm)
300-325 mm	300	3,6	77,718	0,933	115,3	1,384	3,149
	325	3,9					3,449
325-350 mm	325	3,9	52,705	0,632			3,149
	350	4,2					3,449
350-375 mm	350	4,2	27,77	0,333			3,150
	375	4,5					3,450
375-400 mm	375	4,5	2,714	0,033			3,149
	400	4,8					3,449

Tabla 7. Efecto de los topes en ΔL de los micrómetros 300-400 mm

Se observa que la variación de longitud cambia con el cambio de tope para una misma longitud de medida. Esto es lógico, ya que ni el BPL ni la barra cambian, pero sí cambia la longitud del tope; a mayor tope, mayor variación de longitud.

Por tanto, interesa medir las distancias límite (225 mm, 250 mm y 275 mm para micrómetros de 200-300 mm, y 325 mm, 350 mm y 375 mm para micrómetros de 300-400 mm) con el menor de los topes posible, para que el error cometido debido a la dilatación térmica sea menor.

También se aprecia que para medir 300 mm, es recomendable hacerlo con un micrómetro de 200-300 mm.

Sin embargo, la variación de temperatura no es significativa, ya que estos instrumentos tienen, por lo general, una división de escala centesimal.

En cuanto a la incertidumbre típica que añade la diferencia de temperatura entre el patrón y el instrumento a la medición, son varios los factores a tener en cuenta, tal y como se muestra en la fórmula que define la incertidumbre debida a la variación de la temperatura²:

$$u_{típ.\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{tol}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{term}}{k}\right)^2 + \left(\frac{E_{term}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

tol : tolerancia aplicada a la temperatura en la que se encuentran todos los utensilios empleados en la calibración: patrones, instrumento, topes... generalmente ± 1 °C ($tol = 1$ °C) o ± 2 °C ($tol = 2$ °C).

U_{term} : incertidumbre del termómetro utilizado en la calibración, con su factor de cobertura k .

E_{term} : división de escala del termómetro

La contribución de la diferencia de temperatura a la incertidumbre global vendrá dada por el resultado de multiplicar su incertidumbre típica (vista anteriormente) por el coeficiente $L \cdot \alpha$, donde L es la longitud del BPL medido y α el coeficiente de dilatación térmica del material del cual está hecho el BPL. Es decir, la fórmula que nos interesa es la siguiente:

$$u_{\Delta T} = L \cdot \alpha \cdot u_{típ.\Delta T} = L \cdot \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{tol}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{term}}{k}\right)^2 + \left(\frac{E_{term}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

Ejemplo 4: (datos sacados del Anexo 8.1 de la referencia [21])

Se desea saber cuánto contribuye la diferencia de temperatura entre el bloque patrón longitudinal de acero de 150 mm empleado y el instrumento a la incertidumbre global cuando se realiza una calibración en las siguientes condiciones:

La calibración de un instrumento se realiza en una sala cuya temperatura se mantiene en 20 °C ± 1 °C. Esta es medida mediante un sensor de contacto cuya resolución es de $0,5$ °C y su incertidumbre expandida de 1 °C (para $k=2$). Se observa una deriva del sensor de $0,25$ °C.

Para calcular la incertidumbre típica debida a la diferencia de temperatura, basta con aplicar la fórmula antes descrita. Expondré la fórmula teniendo en cuenta la deriva y después sin tenerla en cuenta, para demostrar que la diferencia no es significativa.

- *1^{er} caso. Se tiene en cuenta la deriva del termómetro:*

² En la fórmula se desprecia el sumando relativo a la deriva del termómetro $\left(\frac{der_{term}}{2\sqrt{3}}\right)^2$, ya que ni es estimable objetivamente, ni su valor afecta de forma considerable a la incertidumbre debida a la diferencia de temperatura.

$$u_{tip.\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{tol}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{term}}{k}\right)^2 + \left(\frac{E_{term}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{der_{term}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$tol = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$U_{term} = 1\text{ }^{\circ}\text{C} ; k=2$$

$$E_{term} = 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$der_{term} = 0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$u_{tip.\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5\text{ }^{\circ}\text{C}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,25\text{ }^{\circ}\text{C}}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0,333 + 0,250 + 0,021 + 0,005} = 0,781\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$u_{\Delta T} = L \cdot \alpha \cdot u_{tip.\Delta T}$$

$$L = 150\text{ mm}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} (\text{ }^{\circ}\text{C})^{-1}$$

$$u_{\Delta T} = 150 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 0,781 = 0,0014051\text{ mm} \approx 1,4\text{ }\mu\text{m}$$

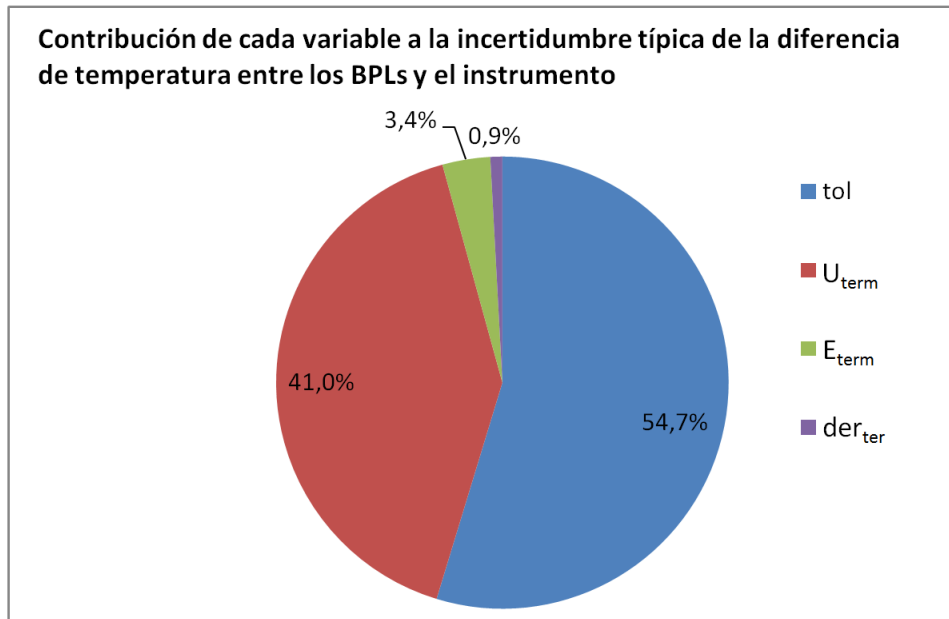


Figura 7. Contribución de parámetros del termómetro en la incertidumbre típica de ΔT

- 2° caso. No se tiene en cuenta la deriva del termómetro:

$$u_{tip.\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5\text{ }^{\circ}\text{C}}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0,333 + 0,250 + 0,021} = 0,777\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$u_{\Delta T} = 150 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 0,777 = 0,0013991\text{ mm} \approx 1,4\text{ }\mu\text{m}$$

Efectivamente, la deriva del termómetro es completamente despreciable. Ciertamente es que en el ejemplo su valor es bajo, pero es un ejemplo bastante real, ya que no se desvía mucho si se calibra en periodos razonables de tiempo. En el caso de que la deriva fuera de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (y ningún otro dato cambiase), contribuiría con el 12% en la incertidumbre típica, pero ese es un caso bastante extremo, pues tal deriva es inusual.

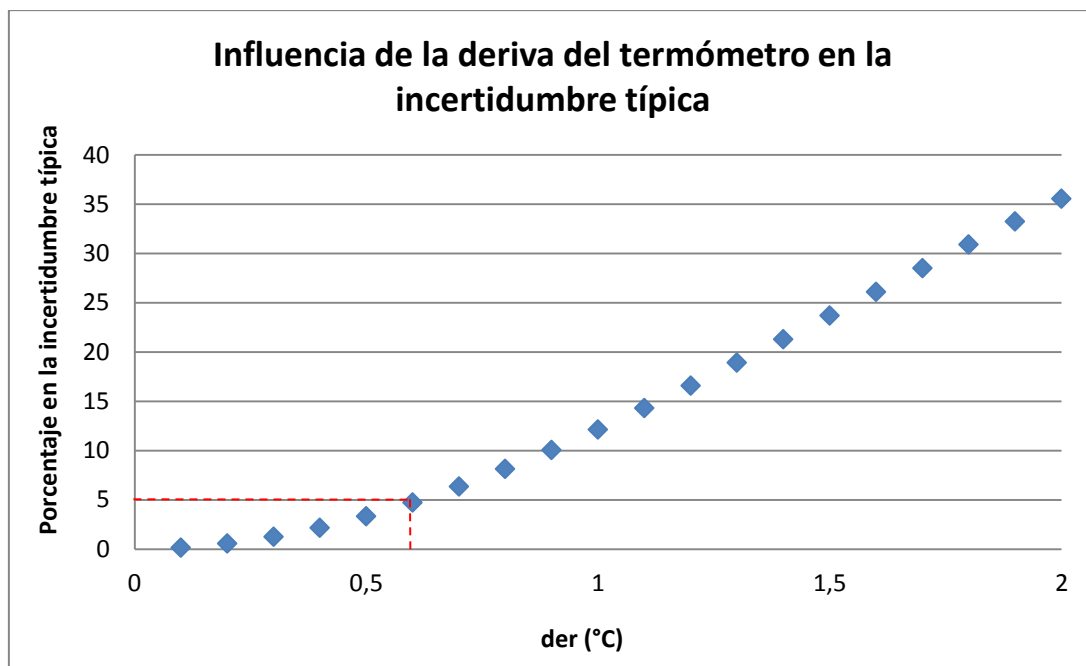


Figura 8. Influencia de la deriva del termómetro en la incertidumbre típica

Un valor que suele emplearse a la hora de saber si despreciar un término es el 5% del valor total. Si ese término no supera el 5%, podrá ser despreciado. Aplicando este mismo criterio, vemos que para este ejemplo la deriva debería ser de 0,62 °C. Este valor es muy alto, ya que la tolerancia del termómetro es de ±1 °C. Por tanto, es probable que se encuentre por debajo de 0,62 °C, con lo que podrá ser despreciado.

Aparte de la diferencia de temperatura, también existe una incertidumbre debida al coeficiente de dilatación térmica, α , ya que este no tiene un valor exacto, sino que se mueve en torno a una tolerancia. En el caso del acero, el valor que toma este coeficiente de dilatación es $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \pm 1 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$, y su incertidumbre es la siguiente:

$$u_{tp.\alpha} = \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Desarrollando, queda el siguiente valor de incertidumbre típica:

$$u_{tp.\alpha} = 0,82 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$$

Su contribución a la incertidumbre global queda multiplicada por el factor $L \cdot \Delta T$:

$$u_{\alpha} = L \cdot \Delta T \cdot u_{tp.\alpha}$$

Para variaciones de 1°C, se obtienen los siguientes valores de incertidumbre debida a la variación de coeficiente de dilatación:

L (mm)	u_α (μm)
1	0,00082
5	0,0041
10	0,0082
15	0,0123
20	0,0164
25	0,0205
50	0,041
100	0,082
150	0,123
200	0,164
250	0,205
300	0,246
500	0,41
1000	0,82

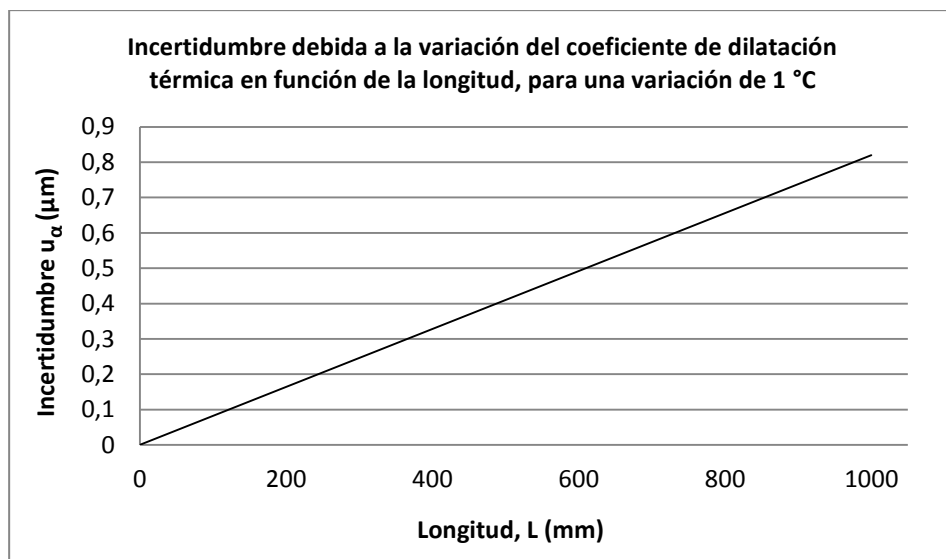


Tabla 8. u_α en función de L

Figura 9. u_α en función de L

Tras el análisis del efecto de la temperatura en la calibración, concluyo que conocer el fenómeno de la dilatación térmica es fundamental para poder calibrar debidamente e intentar minimizar el error, pero todavía es más importante saber cuánto puede afectar cada factor en la diferencia de temperatura, para saber si considerarlo importante o no.

1.5. Otros factores

Aunque los factores más importantes ya se han comentado anteriormente, aún quedan algunos sin nombrar ni ver su contribución a la incertidumbre global. Entre ellos, quisiera destacar el paralelismo, la planitud y el error de Abbe.

1.5.1. Paralelismo

Es una relación entre dos contactos de un mismo instrumento, según la cual los planos en los que las superficies de estos se encuentran nunca se cortarían.

Conseguir un paralelismo perfecto entre dos o más caras es física- y tecnológicamente imposible, por lo que este quedará definido dentro de un intervalo en el que pueda considerarse aceptable.

Por lo general, a simple vista es perceptible si un instrumento presenta anomalías referidas al paralelismo de sus contactos. Por ejemplo, en los micrómetros de rango 0-25 mm, si sus contactos no son suficientemente paralelos, sus contactos tocan en un punto, mientras que en el resto de la superficie se mantienen separados.

El hecho de medir el paralelismo no es tarea fácil si no se dispone del material adecuado. Sin embargo, pueden utilizarse algunas técnicas para poder ver si un instrumento presenta o no paralelismo en sus contactos.

Una técnica muy simple es aplicar luz a la zona de los contactos, mientras que estos se mantienen en contacto, y observar si la luz que incide sobre la zona de contacto atraviesa esta zona, proyectándose al otro lado.

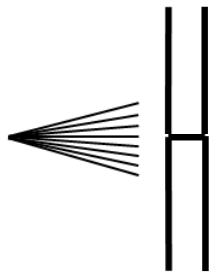


Figura 10. La luz no pasa

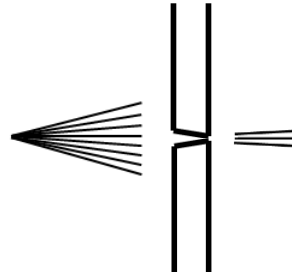


Figura 11. La luz pasa

Si la luz no pasa, es porque los contactos están en contacto total entre sí, por lo que son paralelos. Pero si un fragmento de luz se proyecta al otro lado, sus contactos han dejado una holgura que ha permitido que la luz atraviese la zona de contacto, por lo que las caras de contacto no serán paralelas.

Habrán ocasiones en las que no sea necesario realizar esta técnica, pues al juntar los contactos se apreciará visualmente el no-paralelismo de estos.

El paralelismo contribuye a la incertidumbre de un instrumento así:

$$u_{par} = \frac{t_{par}}{2\sqrt{3}}$$

t_{par} : tolerancia de paralelismo aplicada

1.5.2. Planitud

Por muy pulida que esté una superficie, esta nunca será plana al 100%, por lo que también aquí habrá de aplicarse una tolerancia. La planitud es la característica que tienen las superficies de estar comprendidas en un plano, pero como ya he dicho, esto es imposible. Toda superficie está delimitada por un espacio comprendido entre dos planos paralelos. Cuanto menor sea la distancia entre estos planos, mayor será su planitud.

Como ejemplo, se observa este objeto, que aparentemente tiene unas caras completamente planas:



Figura 12. Objeto supuestamente plano

Pero, si lo examinamos de forma microscópica, vemos que sus caras tienen una rugosidad:



Figura 13. Rugosidad del objeto supuestamente plano

Esta rugosidad comprenderá picos de diferentes alturas, siendo de menor rugosidad (y por ende, mayor planitud), aquella superficie que presente menor distancia entre sus picos más distinguidos.

En la figura anterior se observa la rugosidad en un tramo de una superficie, y se puede observar que viene delimitada por dos planos paralelos horizontales separados una distancia d entre ellos:



Figura 14. Delimitación de la rugosidad del objeto supuestamente plano

En la industria, muchas piezas se fabrican aplicándoseles una tolerancia de planitud (exigida por el cliente o por ellos mismos). En metrología, este factor también deberá tenerse en cuenta a la hora de realizar un procedimiento de calibración, pues tanto las superficies de las piezas como las de los instrumentos de medición no son perfectamente planas.

La contribución de la planitud a la incertidumbre global es la siguiente:

$$u_{pla} = \frac{t_{pla}}{\sqrt{6}}$$

t_{pla} : tolerancia de planitud aplicada

1.5.3. Error de Abbe

Este error ocurre cuando la boca móvil de un pie de rey está desviada respecto del eje perpendicular al eje de la regla del propio pie de rey.

Siendo H la distancia del eje del patrón al eje de la regla, y β el ángulo formado por la holgura de la boca móvil con la regla, se define el error de Abbe como:

$$e_{Abbe} = H \cdot \sen \beta$$

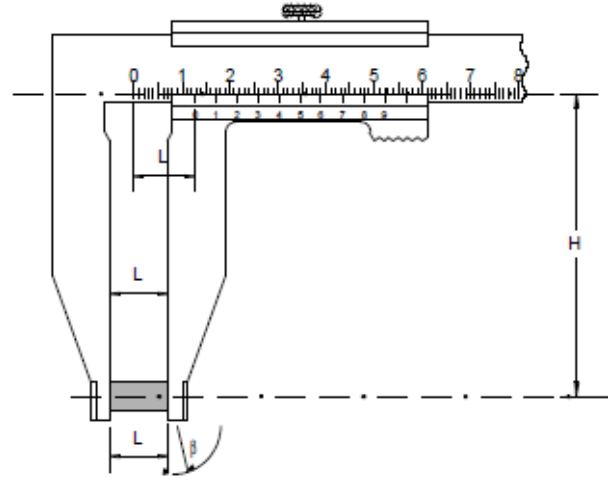


Figura 15. Error de Abbe (Fuente: ref [2])

Por lo general, el ángulo β no podrá ser determinado experimentalmente, por lo que podremos aproximararlo al siguiente valor:

$$\beta = \text{arc tg } \frac{r}{H}$$

r : resolución del pie de rey (división de escala)

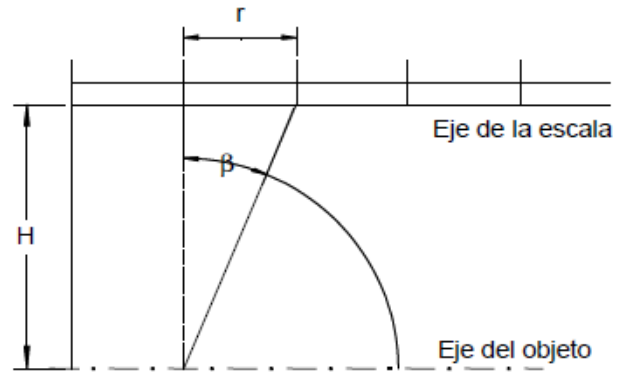


Figura 16. Ángulo β en el error de Abbe (Fuente: ref [2])

Como el ángulo β será pequeño, se puede suponer que $\sen \beta \approx \beta$

Así, el error de Abbe se calcularía como $e_{Abbe} \approx H \cdot \beta = H \cdot \text{arc tg } \frac{r}{H}$ (β en rad)

En los pies de rey, la distancia H entre los ejes del patrón y de la regla es mucho mayor que la resolución r del instrumento. Para $H \gg r$, se tiene que:

$$H \cdot \text{arc tg } \frac{r}{H} \approx r$$

Y el error de Abbe quedaría: $e_{Abbe} \approx r$

El error de Abbe contribuye a la incertidumbre global con una incertidumbre típica de distribución rectangular, cuya fórmula es: $u_{Abbe} = \frac{e_{Abbe}}{2\sqrt{3}}$

2. INCERTIDUMBRE COMBINADA E INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

2.1. Incertidumbre combinada, u

La incertidumbre combinada es el resultado de sumar todas las contribuciones a la incertidumbre global de los factores que afectan a la calibración, vistos con anterioridad. Se calcula la incertidumbre combinada como:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot u_i)^2}$$

c_i : factor multiplicador de u_i

u_i : contribución a la incertidumbre global del factor i

n : cantidad de factores a tener en cuenta

2.2. Incertidumbre expandida, U

La incertidumbre expandida es, de todas las incertidumbres halladas, la más importante.

Es una tolerancia aplicada a la medida que da el instrumento, que delimita el intervalo entorno al resultado de la medición en el que, con un nivel de confianza (p), se encontrarán la mayoría de valores atribuidos al mensurando.

Esta incertidumbre se calcula multiplicando la incertidumbre combinada por un factor k , llamado *factor de recubrimiento*, y que suele tomar valores comprendidos entre 2 y 3. Este factor no deja de ser un coeficiente de seguridad que se le aplica a la incertidumbre total del instrumento.

Se escribe con mayúsculas, y su expresión es la siguiente:

$$U_c = k \cdot u_c$$

2.3. Factor de cobertura, k

Como ya he comentado, es un coeficiente de seguridad que multiplica a la incertidumbre combinada para dar la incertidumbre expandida.

Cuando en una calibración se toman muchas reiteraciones para la medición de un punto, este valor se suele tomar como $k=2$. Así ocurre, por ejemplo, cuando vemos el certificado de calibración de los bloques patrón longitudinales, donde sus incertidumbres vienen calculadas aplicando un factor de cobertura $k=2$.

Cada punto tomado tendrá una incertidumbre combinada y un factor de cobertura distinto a otro punto tomado en la calibración. Podrá resultar que coincidan, pero se calculan de forma independiente entre sí.

Para calcular el factor de cobertura (solo serán calculables las evaluaciones de tipo A; es decir, aquellos métodos de los cuales se evalúa la incertidumbre mediante análisis estadístico de series de observaciones ^[3]), se deberá tener en cuenta la distribución de probabilidad que siguen las variables (todas las distribuciones basadas en la referencia [4]):

2.3.1. Distribución rectangular:

Esta distribución se da cuando cada valor en un intervalo tiene la misma probabilidad.

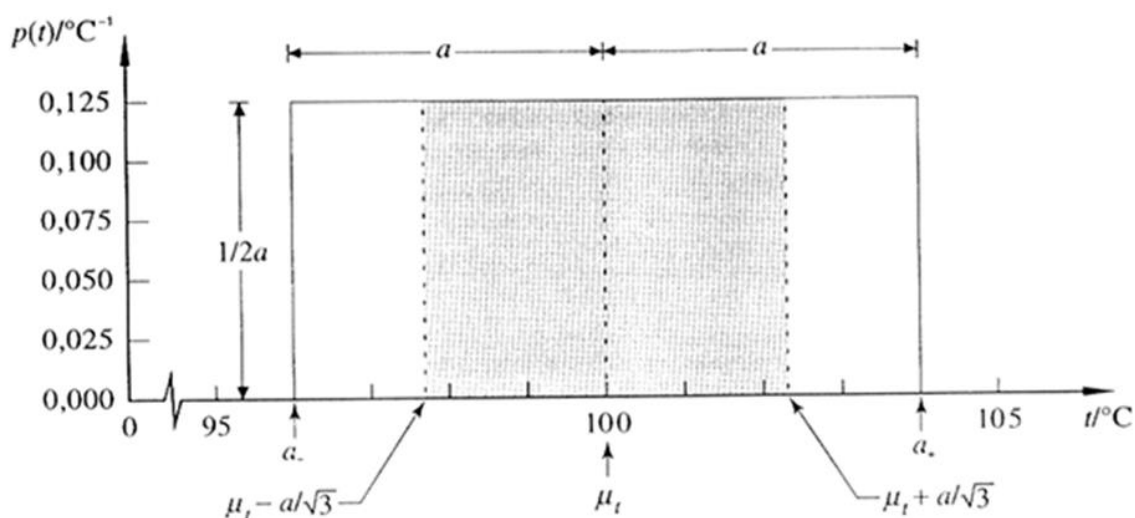


Figura 17. Densidad de probabilidad de una distribución rectangular (Fuente: e-medida ^[41])

Es el caso de la división de escala, la diferencia de temperatura, del defecto de planitud, del defecto de paralelismo y del error de Abbe.

Se calcula igualando las dos fórmulas en las que aparece la incertidumbre expandida:

- Por un lado, se calcula la integral de la función de distribución para un nivel de confianza p:

$$\int_{y-U_p}^{y+U_p} f(Y) dY = 2 \cdot U_p \cdot \frac{1}{2 \cdot a} = \frac{U_p}{a} = p$$

De ella se obtiene que $U_p = p \cdot a$

- Por otro lado, se tiene que $U_p = k_p \cdot \sigma$, donde $\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$

Así, se pueden igualar ambas ecuaciones y obtener el valor del factor de cobertura en función del nivel de confianza:

$$p \cdot a = k_p \cdot \sigma \longrightarrow p \cdot a = k_p \cdot \frac{a}{\sqrt{3}}$$



$$k_p = \sqrt{3} \cdot p$$

Nivel de confianza, p (%)	Factor de cobertura, k _p
57,74	1
60,00	1,04
70,00	1,21
80,00	1,39
90,00	1,56
95,00	1,65
99,00	1,71
100,00	1,73

Tabla 9. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución rectangular

2.3.2. Distribución triangular:

Si bien este caso no se da en ningún factor analizado anteriormente, existe y el factor de cobertura se obtiene de la misma manera que antes, pero dentro de la integral habrá otra función, representando la distribución triangular.

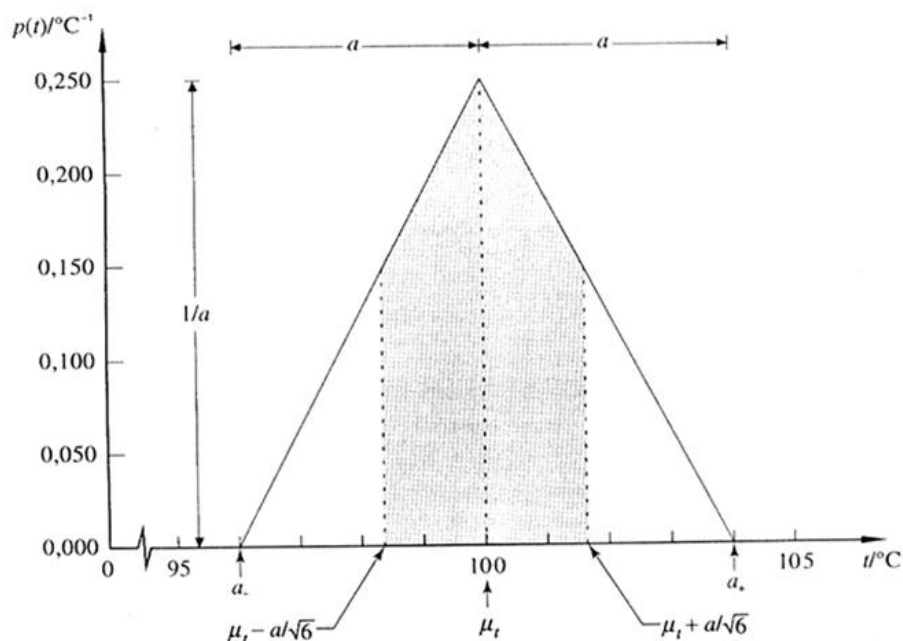


Figura 18. Densidad de probabilidad de una distribución triangular (Fuente: e-medida ^[4])

Como resultado de esa integral, se obtiene el valor de p:

$$p = 1 - \frac{(a - U_p)^2}{a^2}$$

De donde se obtiene que $U_p = a \cdot (1 - \sqrt{1 - p})$

Y la desviación típica es: $\sigma = \frac{a}{\sqrt{6}}$

Utilizando la igualdad para U_p , se obtiene el valor de k_p para un nivel de confianza determinado:

$$a \cdot (1 - \sqrt{1 - p}) = k_p \cdot \sigma \longrightarrow a \cdot (1 - \sqrt{1 - p}) = k_p \cdot \frac{a}{\sqrt{6}}$$

$$\downarrow$$

$$k_p = \sqrt{6} \cdot (1 - \sqrt{1 - p})$$

Nivel de confianza, p (%)	Factor de cobertura, k_p
64,98	1
70	1,11
80	1,35
85	1,50
90	1,67
95	1,90
99	2,20
100	2,45

Tabla 10. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución triangular

2.3.3. Distribución normal:

Esta distribución es empleada en metrología para definir el comportamiento de algunas variables aleatorias continuas, entre ellas, la repetibilidad.

Su función de densidad es $f(Y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}$, donde

x: variable aleatoria continua

μ : media de la distribución

σ : desviación típica de la distribución

Se puede designar como $N(\mu, \sigma)$ siempre que la variable x pueda tomar cualquier valor comprendido en el conjunto de los números reales.

La distribución normal tiene una forma peculiar, denominada *campana de Gauss*, pues a esta distribución también se la conoce como distribución de Gauss o distribución gaussiana.

La siguiente figura muestra la curva que crea la función de densidad de la distribución normal $N(0,1)$:

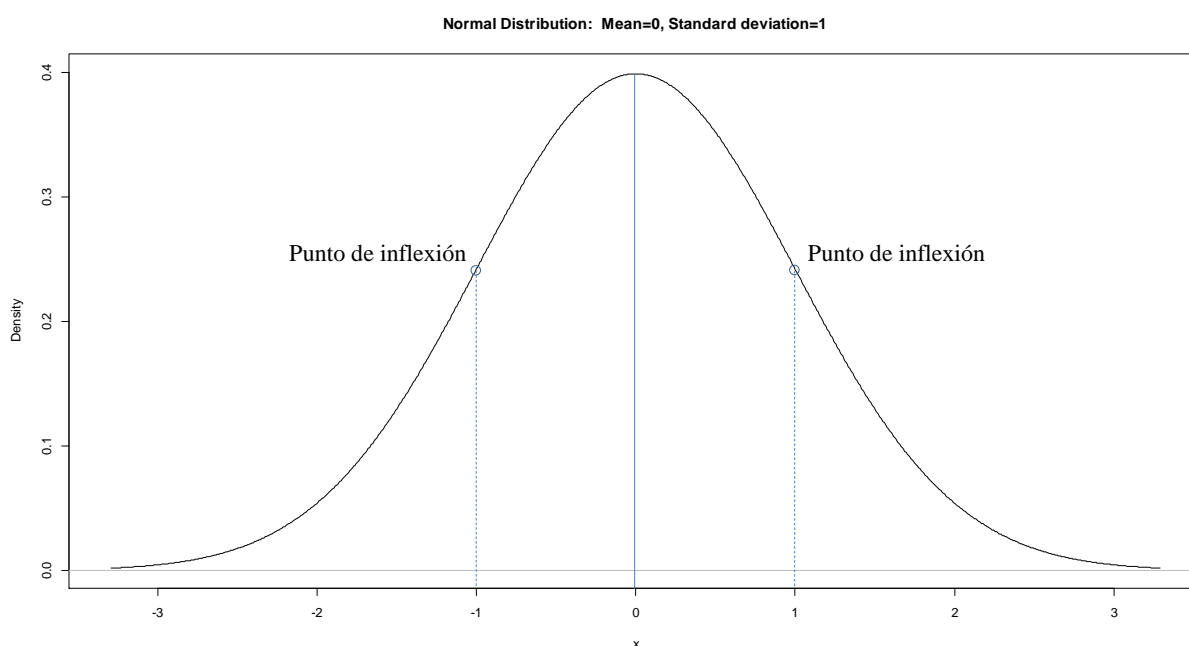


Figura 19. Densidad de probabilidad de una distribución normal (Fuente: e-medida ^[4])

En esta función, los extremos nunca tocan el eje de abscisas, pues este eje es una asíntota de la curva. Otra característica es que la curva es simétrica respecto a la media, μ .

Presenta puntos de inflexión en $x = \mu + \sigma$ y $x = \mu - \sigma$; es decir, en $x = 1$ y $x = -1$.

Para la obtención de intervalos de confianza, es preciso tipificar la variable normal. Se define una variable tipificada normal como $Z = \frac{Y-\mu}{\sigma}$, donde Y representa una variable distribuida según una distribución normal con media μ y desviación típica σ : $N(\mu, \sigma)$.

Sea $(-k_p, k_p)$ el intervalo de confianza que se define para una distribución $N(0,1)$, para un nivel de confianza p . Y como Z es una distribución $N(0,1)$, la probabilidad de que Z se encuentre en ese intervalo $(-k_p, k_p)$ es el propio nivel de confianza p :

$$\Pr (-k_p \leq Z \leq k_p) = p$$

Sustituyendo $Z = \frac{Y-\mu}{\sigma}$: $\Pr (-k_p \leq \frac{Y-\mu}{\sigma} \leq k_p) = p$

Liberando Y : $\Pr (\mu - k_p \cdot \sigma \leq Y \leq \mu + k_p \cdot \sigma) = p$

Nivel de confianza, p (%)	Factor de cobertura, k_p
68,27	1
70	1,04
80	1,28
90	1,64
95	1,96
95,45	2
99	2,58
99,73	3
99,99	3,89

Tabla 11. k_p en función del nivel de confianza, para una distribución normal

Como los extremos nunca tocan el eje de abscisas, es imposible llegar al 100% de nivel de confianza con valores no infinitos de k_p . Sin embargo, para obtener una confianza del 95% no hace falta que k_p sea muy alto, como se ve en la tabla, pues con $k_p=1,96$ es suficiente.

La función de probabilidad que sigue la distribución normal es la que se puede ver en siguiente figura, que representa la probabilidad acumulada hasta el punto x en cuestión:

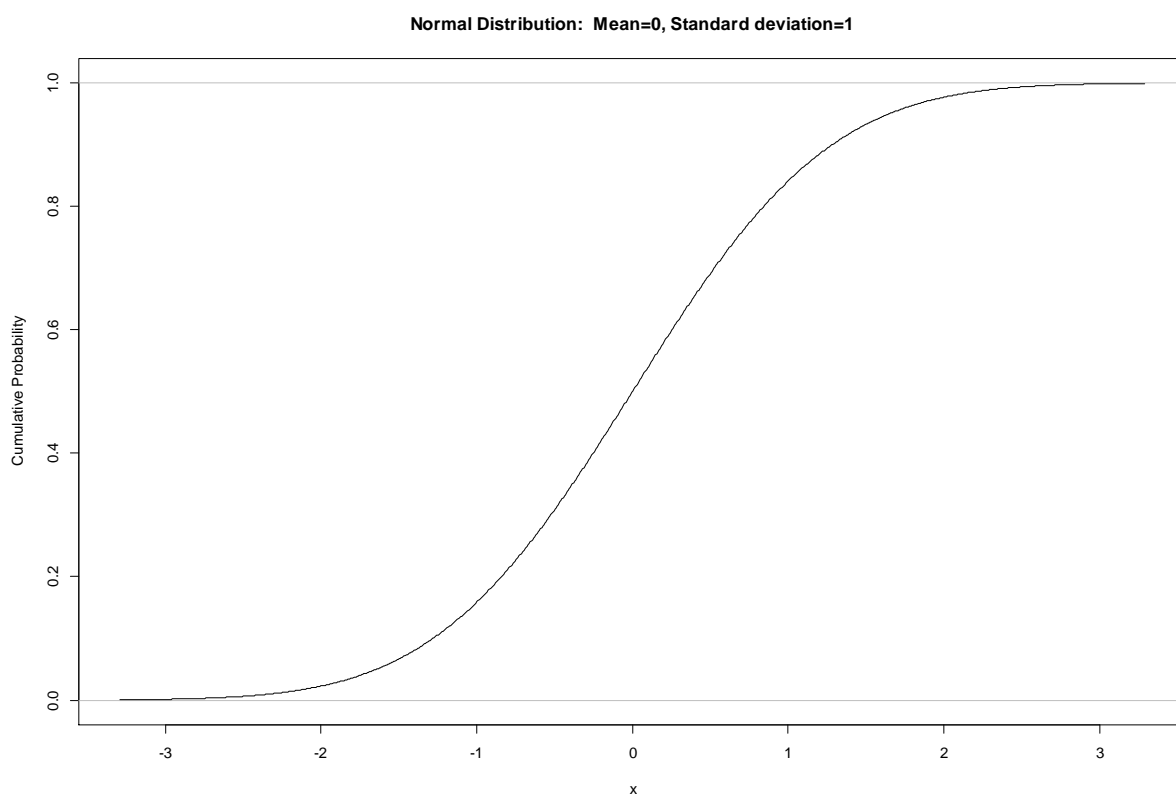


Figura 20. Función de distribución de probabilidad de una distribución normal

2.3.4. Distribución *t-Student*:

Similar a la distribución normal, esta depende de la cantidad de grados de libertad (v). Se define la variable aleatoria Z con una distribución *t-Student* con v grados de libertad como:

$$t = \frac{\bar{z} - \mu_z}{s(\bar{z})}$$

\bar{z} : valor medio de la variable aleatoria

μ_z : esperanza de la variable aleatoria

$s(\bar{z})$: desviación estándar experimental

De la variable aleatoria se realizan n observaciones, con lo que tendrá $v = n - 1$ grados de libertad para una cantidad estimada mediante la media aritmética de n observaciones independientes.

Sea el mensurando Y una magnitud estimada por la media aritmética de n observaciones repetidas independientes de X , \bar{X} , donde la desviación típica experimental es $s(\bar{X})$. Entonces, la mejor estimación de Y es $y = \bar{X}$, y la desviación típica experimental de esta estimación es $u_c(y) = s(\bar{X})$.

Entonces, la variable t queda como:

$$t = \frac{\bar{z} - \mu_z}{s(\bar{z})} = \frac{\bar{X} - X}{s(\bar{X})} = \frac{y - Y}{u_c(y)}$$

Sea $(-t_p(v), t_p(v))$ el intervalo de confianza que se define para una distribución *t-Student*, en función de los grados de libertad que presente. Siendo así, el nivel de confianza p queda como:

$$Pr [-t_p(v) \leq t \leq t_p(v)] = p$$

$$Pr \left[-t_p(v) \leq \frac{y - Y}{u_c(y)} \leq t_p(v) \right] = p$$

$$Pr [y - t_p(v) \cdot u_c(y) \leq Y \leq y + t_p(v) \cdot u_c(y)] = p$$

$t_p(v)$ es el factor de cobertura, y el resultante del producto de $t_p(v) \cdot u_c(y)$ define la incertidumbre expandida, $U_p(y)$:

$$\boxed{U_p(y) = t_p(v) \cdot u_c(y)}$$

$$Pr [y - U_p(y) \leq Y \leq y + U_p(y)] = p$$

A continuación se verán las distintas curvas³ que crean las distribuciones *t-Student* en función de la cantidad de grados de libertad que se le asigne a la variable *t*.

Función de densidad de la probabilidad

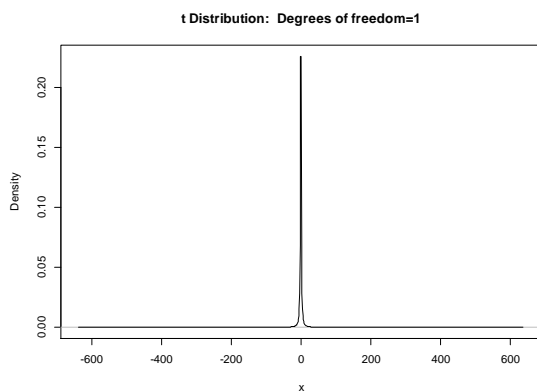


Figura 21. 1 gdl

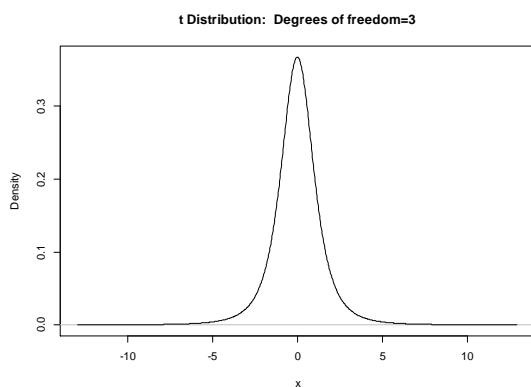


Figura 23. 3 gdl

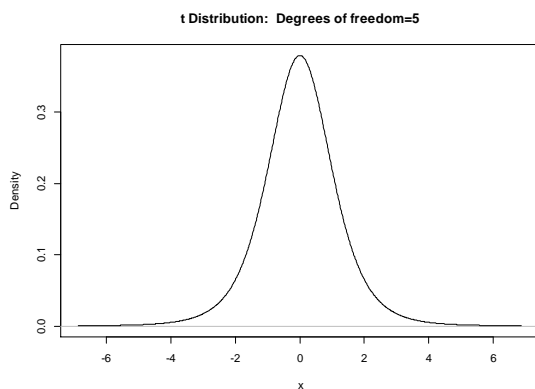


Figura 25. 5 gdl

Función de distribución de la probabilidad

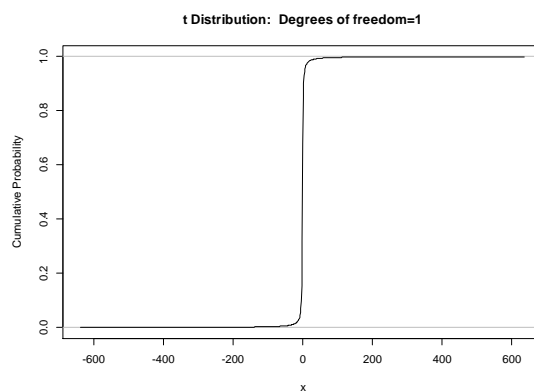


Figura 22. 1 gdl

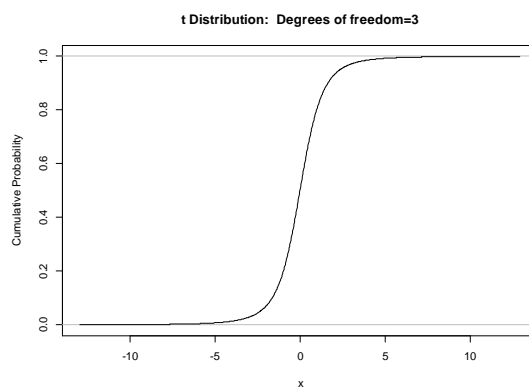


Figura 24. 3 gdl

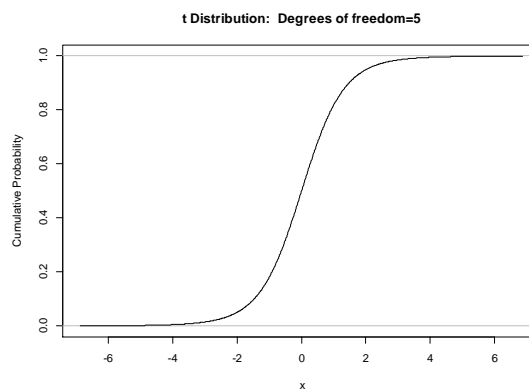


Figura 26. 5 gdl

³ Las curvas se han realizado utilizando la interfaz gráfica R-commander, del software de computación estadística R.

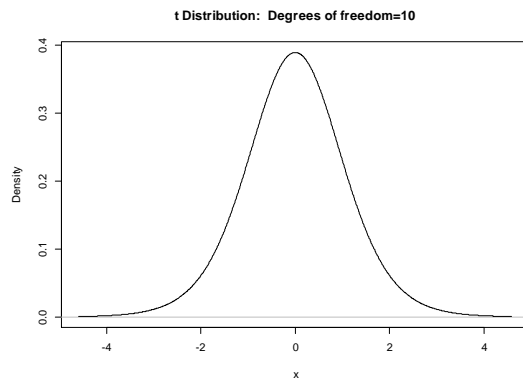


Figura 27. 10 gdl

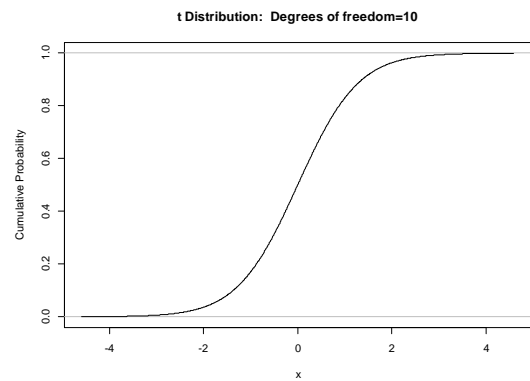


Figura 28. 10 gdl

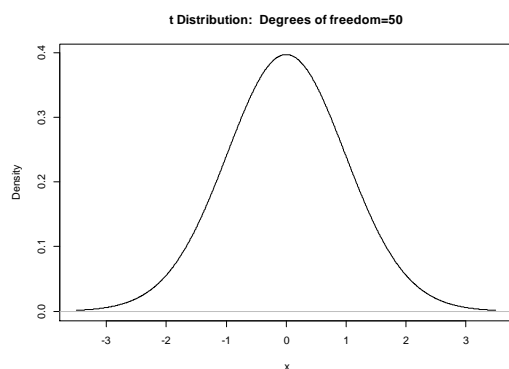


Figura 29. 50 gdl

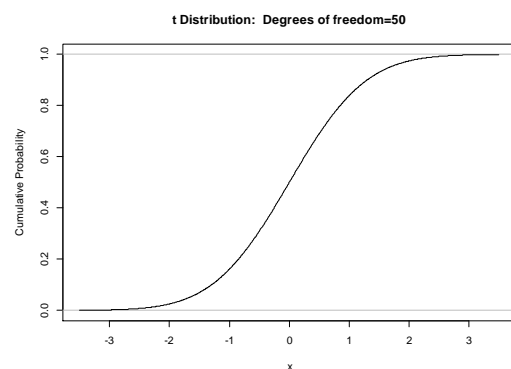


Figura 30. 50 gdl

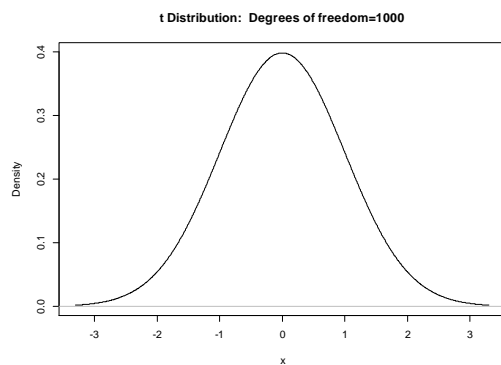


Figura 31. 1000 gdl

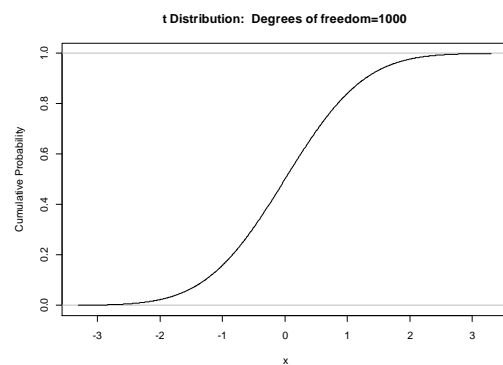


Figura 32. 1000 gdl

En las figuras se aprecia que con 10 gdl la curva de densidad de la probabilidad ya adquiere una forma que irá pareciéndose cada vez más a la de la distribución normal. Y es que, cuando $v \rightarrow \infty$, la forma de la curva de la distribución *t-Student* es exactamente la misma que la distribución normal.

Al igual ocurre con la función de la distribución de la probabilidad, que cuanto mayor es la cantidad de grados de libertad, más se asemeja la curva a la de la distribución normal (ver [Anexo B](#)).

3. GRADOS DE LIBERTAD

Como se ha dicho antes (y como se puede observar a lo largo del Anexo B), el factor de cobertura depende de la cantidad de grados de libertad.

Para una magnitud única estimada por la media aritmética de n observaciones independientes, la cantidad de grados de libertad será:

$$\boxed{\nu = n - 1}$$

Pero cuando se quiere saber el número de grados de libertad que se obtienen tras realizar una medición, hay que tener en cuenta más estimaciones aparte de las n observaciones.

Todas esas estimaciones contribuyen con sus incertidumbres a la incertidumbre global, siendo esta última la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todas las incertidumbres de esas estimaciones:

$$\boxed{u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)}}$$

En ese caso, la variable $t = \frac{y-Y}{u_c(y)}$ no queda bien descrita por una distribución *t-Student*, pero puede aproximarse a la distribución de dicha variable mediante una distribución *t-Student* con lo que se denomina *grados efectivos de libertad*, ν_{eff} :

La cantidad de ν_{eff} se obtiene utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$\frac{u_c^4(y)}{\nu_{eff}} = \sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}$$

Despejando ν_{eff} :

$$\boxed{\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}}$$

ν_i : grados de libertad de cada estimación i

$u_i(y)$: incertidumbre de cada estimación i

$u_c(y)$: incertidumbre combinada

Es muy probable que el resultado no dé un valor entero. Cuando eso ocurra, yo recomiendo que a no ser que el valor se encuentre a menos de 0,2 del valor entero inmediatamente superior, se redondee hacia el valor inmediatamente inferior. Así, si $\nu_{eff} = 13,57$ se redondearía a $\nu_{eff} = 13$; pero si $\nu_{eff} = 15,83$, se llevaría a $\nu_{eff} = 16$.

Esta recomendación es debida a intentar evitar que se tenga menor factor de cobertura, pues se estaría restringiendo el resultado dándole menor tolerancia.

Sin embargo, puede darse el caso de tener una tabla donde figuren los valores del factor de cobertura en función de los grados de libertad, para un nivel de confianza determinado. Al ser una tabla, no figurarán todos los valores posibles de grados de libertad, pues estos pueden llegar hasta el infinito. Además, puede ser que se omitan valores entre intervalos; es decir, que salte de $\nu = 15$ a $\nu = 20$, sin pasar por $\nu = 16, \nu = 17, \nu = 18$ y $\nu = 19$. En este caso, aconsejo interpolar el resultado y redondear al número entero inmediatamente inferior.

Por ejemplo, si en una tabla salta de $\nu = 15$ a $\nu = 20$ (el intervalo tiene una distancia de 5 grados de libertad), y obtenemos $\nu_{eff} = 17,23$, se redondeará a $\nu = 17$.

En la Tabla 24 del Anexo C se puede ver una tabla de ese estilo.

La cantidad de grados de libertad es un factor importante en la calibración de los instrumentos, pues en función de ella se multiplicará la incertidumbre total obtenida por un factor de cobertura u otro.

4. PASOS A SEGUIR EN LA CALIBRACIÓN DE CUALQUIER INSTRUMENTO

- Paso 0. Realización de un procedimiento de calibración.

En él, se deberá definir cuántos puntos se tomarán y cuáles serán estos, y cómo se tratarán los datos obtenidos a partir del procedimiento.

Se deberá fijar un criterio de validez, como un límite de incertidumbre máxima, por ejemplo.

También se fijará el periodo de calibración del instrumento, para saber cuándo deberá ser calibrado de nuevo.

- Paso 1: Limpieza del instrumento y de los patrones.

Antes de proceder a la toma de puntos, se deberán limpiar el instrumento y los patrones. En especial, se limpiarán tanto la zona donde se realizará el contacto instrumento-patrón (y patrón-patrón si se necesitan varios patrones para materializar una medida) como la zona de contacto de las partes móviles del instrumento.

Para realizar la limpieza, se recomienda utilizar un paño o papel previamente humedecido con una solución de alcohol, como puede ser el caso de alcohol etílico (etanol) doméstico, comúnmente empleado para uso cutáneo. Se deberá frotar con el paño o papel con ahínco sobre la superficie de contacto con los patrones, pues ahí es posible que ocurran errores de medición debidos a la suciedad del instrumento.

Posteriormente al alcohol, se recomienda rociar la zona de contacto de las partes móviles del instrumento con un spray de silicona o alguna otra sustancia similar que ayude disminuir la fricción entre ambas partes móviles. En el caso de los micrómetros, entre la barra y el agujero que atraviesa la barra.

- Paso 2: Inspección visual, estado general y funcionamiento.

Un instrumento no deberá ser válido si presenta anomalías (golpes, por ejemplo) o desgaste en zonas críticas de medición, como pueden serlo los contactos, la visibilidad de la escala o excentricidades visuales de un eje de una parte móvil respecto del eje de otra parte móvil (por ej., en el pie de rey).

En cuanto al funcionamiento, simplemente hay que asegurarse de que funcione como tiene que funcionar, que no tenga nada fuera de lo común.

Los patrones empleados también deberán estar en buen estado y con un certificado de calibración que así lo acredite.

Cualquier disconformidad con el instrumento deberá impedir la validez del mismo, y este deberá ser retirado y marcado como no apto.

En el caso de poder repararse, se comenzará la calibración desde el inicio, volviendo a repetir el paso de inspección visual y funcionamiento, para asegurarse de que se ha reparado correctamente.

- Paso 3. Calibración.

Se procederá según el procedimiento de calibración, ya definido en el Paso 0, tomando los puntos que sean requeridos y anotando el resultado obtenido.

Para la obtención de los resultados que interesen, se recomienda emplear algún programa informático que sea capaz de realizar los cálculos automáticamente.

De tales cálculos se obtendrá el valor de la(s) magnitud(es) que se haya(n) definido como criterio de validez.

En la industria, es común emplear el criterio de la incertidumbre máxima admisible, donde el instrumento no será válido si la incertidumbre del mismo sobrepasa el valor de dicha incertidumbre máxima admisible.

Todas las calibraciones serán registradas y guardadas en archivos accesibles al personal de la empresa.

- Paso 4. Validez del instrumento.

Si el instrumento cumple los requisitos antes expuestos, se considerará apto y podrá ser utilizado (a excepción de que el encargado de la calibración decidiese por algún otro motivo que no debiera ser así).

En el caso de que no sea apto, se retirará. Si es posible repararlo, se intentará reparar y realizar de nuevo la calibración. Cuando un instrumento no pueda ser reparado, recomendando que se desmonte y se aproveche el máximo de piezas posibles, para utilizarlas como recambio por si algún día fuera necesario reparar un instrumento de esa misma familia y se necesitase esa pieza en especial. Así, la empresa se ahorrará el dinero que le cueste la pieza nueva; o, en el caso de que no sea una pieza que se venda por separado, el dinero que cueste un instrumento nuevo.

***Nota:** todo instrumento que se emplee en una empresa deberá estar identificado de alguna manera, y su identificador será visible, legible, único e irrepetible.

CAPÍTULO III. CALIBRACIÓN PRÁCTICA EN TACOI S.COOP.

1. DIAGRAMA DE NIVELES

Previamente a realizar el procedimiento de calibración de un instrumento, se debe conocer qué instrumentos se utilizan en su calibración. Para ello, se realiza un diagrama de niveles, donde se muestra el origen de la trazabilidad de los instrumentos.

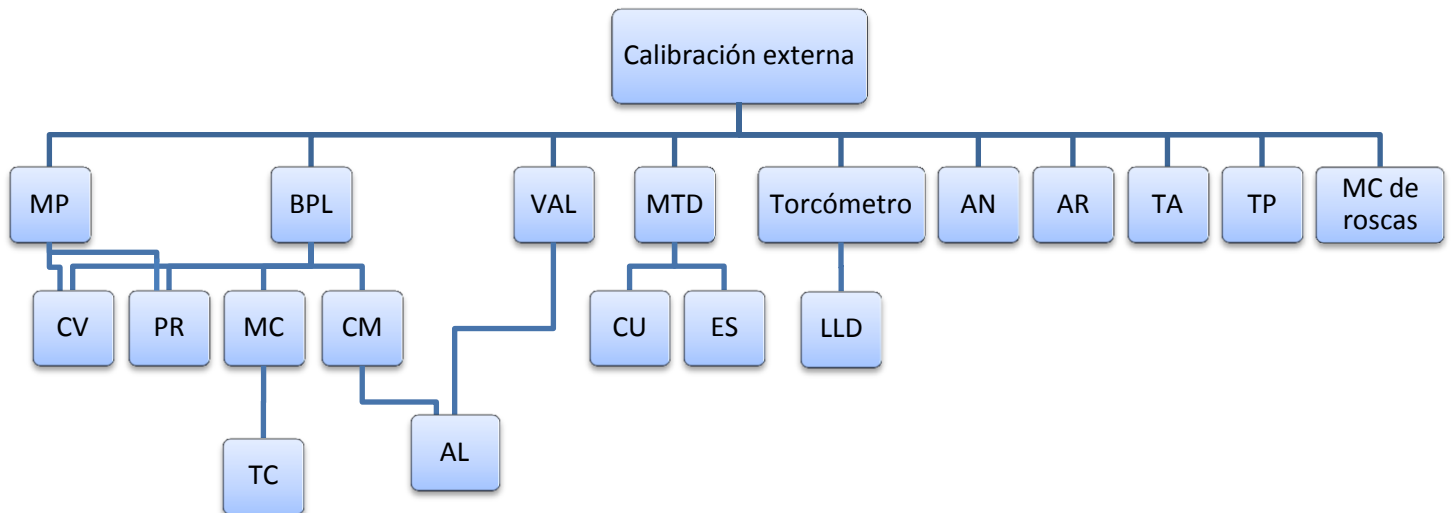


Figura 33. Diagrama de niveles de los instrumentos de Taco S. Coop.

MP:	Mesa de planitud
BPL:	Bloque patrón longitudinal
CV:	Máquina de una coordenada vertical
PR:	Pie de rey
MC:	Micrómetro de exteriores de dos contactos
TC:	Tampón cilíndrico
CM:	Comparador mecánico
VAL:	Verificador de alexómetro
AL:	Alexómetro
MTD:	Máquina tridimensional
CU:	Cuña de medición
ES:	Escuadra de perpendicularidad
LLD:	Llave dinamométrica
AN:	Anillo liso
AR:	Anillo roscado
TA:	Transportador de ángulos
TP:	Tampón de posición

2. CONTENIDO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

A continuación determinaré cuáles serán los aspectos generales que se describirán en los procedimientos de calibración de cualquier instrumento.

- Tabla de contenido.

En ella se indicará dónde encontrar los diferentes aspectos tratados en el procedimiento.

- Historial de revisiones.

Cada vez que se realice una revisión, deberá anotarse en esta sección el número de revisión que le corresponde, el nombre de la persona que ha realizado la revisión, la fecha en la cual se ha realizado y las observaciones o cambios que se han realizado.

- Objeto.

Se explicará de forma breve el porqué del procedimiento.

- Alcance.

Determinará qué instrumentos serán calibrados utilizando ese procedimiento.

- Desarrollo de la calibración.

Aquí es donde se procederá a explicar el procedimiento de calibración, así como los criterios de aceptación y el método que se empleará para realizar los cálculos.

- Periodo de la calibración.

Se delimitará el periodo de calibración del instrumento.

- Responsabilidades.

En este apartado se expone sobre quién o quiénes recae la responsabilidad de esa calibración.

3. FORMATO DE LA HOJA DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN


	Procedimiento de calibración de INSTRUMENTO		
	Revisión: nº revisión	Fecha: dd/mm/aa	Hoja: x/y

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
3.1.- Condiciones ambientales.....	2
3.2.- Patrones a utilizar.....	2
3.3.- Verificación de estado.....	2
3.4.- Calibración.....	2
3.5.- Cálculos.....	2
3.6.- Criterios de aceptación y rechazo.....	2
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN	2
5.- RESPONSABILIDADES	2

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 34. Hoja 1 de la ficha de calibración



Procedimiento de calibración de INSTRUMENTO

Revisión: n° **revisión**

Fecha: dd/mm/aa

Hoja: **x/y**

1.- OBJETO

2.- ALCANCE

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

3.4.- CALIBRACIÓN

3.5.- CÁLCULOS

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

5.- RESPONSABILIDADES

Figura 35. Hoja 2 de la ficha de calibración

Habrá algunas partes que sean comunes a todos o la mayoría los instrumentos. Esas partes son:

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

3.2.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

5.- RESPONSABILIDADES

Para esos apartados se puede tener el mismo contenido en todos los instrumentos, por lo que no es necesario escribir en cada procedimiento textos diferentes, pudiendo emplear en todos el mismo texto.

4. SOFTWARE UTILIZADO EN LA CALIBRACIÓN

Los procedimientos descritos en las siguientes páginas est n diseñados para la introducción directa de datos en el software de calibración Visual Factory Calibre 7 y dejando que este programa realice los cálculos pertinentes. Para ello, se deberá configurar previamente el software y decirle cuántos y cuáles serán los puntos que elegiremos para la calibración, así como cuántas veces se realizará cada medición y qué cálculos deberá realizar el programa.

Sin embargo, si no se dispusiera de un software de calibración, podrá realizarse la calibración con alguna aplicación en Excel, por ejemplo. Por mi parte, dejo una aplicación para la calibración de pies de rey como adjunto a este Trabajo Fin de Grado ([Anexo D](#)), ya que considero que los pies de rey son los instrumentos más comunes en el ámbito industrial. Esta aplicación tiene en cuenta los consejos y recomendaciones expuestos en la parte teórica de este trabajo, basados en lo que dicta la *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida* (ver ref. [3]) y en conclusiones a las que he podido llegar analizando las contribuciones de cada una de las incertidumbres presentes a la incertidumbre global y analizando también las distribuciones de probabilidad y su efecto sobre el factor de cobertura.

5. PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN DE TACOI S. COOP.

En las siguientes páginas procedo a realizar los procedimientos de calibración de Tacoi, en el orden que sigue:

- 5.1. Procedimiento de calibración de alexómetros.
- 5.2. Procedimiento de calibración de instrumentos calibrados externamente.
- 5.3. Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos.
- 5.4. Procedimiento de calibración de cuñas de medición.
- 5.5. Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad.
- 5.6. Procedimiento de calibración de llaves dinamométricas.
- 5.7. Procedimiento de calibración de medidoras de una coordenada vertical.
- 5.8. Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos.
- 5.9. Procedimiento de calibración de pies de rey.
- 5.10. Procedimiento de calibración de tampones cilíndricos.

NOTA: Se podrán ver los instrumentos de calibración así como los elementos que intervienen en la calibración de cada uno de ellos en el Anexo A.

5.1. Procedimiento de calibración de alexómetros

	Procedimiento de calibración de alexómetros		
	Revisión: 0	Fecha: 06/05/15	Hoja: 1 / 3

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
3.1.- Condiciones ambientales.....	2
3.2.- Patrones a utilizar.....	2
3.3.- Verificación de estado.....	2
3.4.- Calibración.....	2
3.5.- Cálculos.....	3
3.6.- Criterios de aceptación y rechazo.....	3
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN	3
5.- RESPONSABILIDADES	3

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 36. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros



Procedimiento de calibración de alexómetros

Revisión: 0

Fecha: 06/05/15

Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de los alexómetros, codificados como AL.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a alexómetros diseñados para la medición de distancias interiores.

Se aplica para cualquier rango de medida y división de escala.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en la calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin de minimizar los errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizará un verificador de alexómetros, cuya incertidumbre estará definida dentro del software de medición Visual Factory Calibre.

Además, se hará uso de un comparador mecánico milesimal.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo. Para ello se comprueba el buen funcionamiento mecánico del equipo, así como que sus escalas sean perfectamente legibles y sus contactos no presenten anomalías.

En caso de existir algún tipo de no - conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando estas en el informe de calibración.

3.4.- CALIBRACIÓN

Para realizar la calibración se colocará el alexómetro sobre el verificador de alexómetros y se ajustará el "cero" manualmente, utilizando también el comparador mecánico.

Girando la manivela del verificador, se tomarán 5 puntos equidistantes y que comprendan la mayor parte posible del rango del alexómetro. Para ello, el primer punto que se tome será el más cercano al "cero", y se procederá a tomar puntos de manera ascendente hasta alcanzar el mayor. Una vez tomados los 5 puntos de manera ascendente, se tomarán los mismos 5 puntos de manera descendente, hasta llegar al menor de todos. Este proceso se repetirá otra vez, por lo que en total se habrán tomado 5 puntos y en cada uno de ellos se habrán realizado 4 reiteraciones no consecutivas.

Figura 37. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros



Procedimiento de calibración de alexómetros

Revisión: 0

Fecha: 06/05/15

Hoja: 3 / 3

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada alexómetro cada 3 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 730 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 38. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de los alexómetros

Ejemplo de calibración de un alexómetro:

Nominal mm	I. Patrón mm	Ko	Valor 1 mm	Valor 2 mm	Valor 3 mm	Valor 4 mm	Media mm	Desviación mm	Correc. mm	Incer. mm	k	Vef
0,1	0	2	0,099	0,100	0,099	0,100	0,0995	0,0006	0,0005	0,0058	2	9999
0,3	0	2	0,296	0,300	0,296	0,297	0,2973	0,0019	0,0028	0,0061	2	318
0,5	0	2	0,497	0,500	0,498	0,503	0,4995	0,0026	0,0005	0,0064	2	99
0,7	0	2	0,700	0,702	0,701	0,702	0,7013	0,0010	-0,0013	0,0059	2	4188
0,9	0	2	0,901	0,905	0,903	0,907	0,9040	0,0026	-0,0040	0,0063	2	107

Rango	Div. esc.	Incer.	Error	I (correc. nula)	I. máx.	Resultado	No Apto por
18 - 35 mm	0,01 mm	0,0064 mm(k=2)	0,004 mm	0,02 mm(k=2)	0,04 mm	Apto	

Figura 39. Ejemplo de calibración de un alexómetro

5.2. Procedimiento de calibración externa


	Procedimiento de calibración externa		
	Revisión: 0	Fecha: 08/04/15	Hoja: 1 / 2

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO	1
2.- ALCANCE	1
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN	2
5.- RESPONSABILIDADES	2

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 40. Hoja 1/2 del procedimiento de calibración de elementos de calibración externa



Procedimiento de calibración externa

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 2 / 2

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es describir la forma en que se calibrarán los elementos que precisen ser calibrados por un laboratorio externo.

2.- ALCANCE

Se aplicará a todos los elementos que no dispongan de procedimiento propio definido por TACO y a aquellos que el departamento de Calidad estime oportuno calibrar externamente.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

La calibración de los elementos relacionados con automoción será realizada por un laboratorio acreditado, al que se entregarán los elementos y los devolverá calibrados junto con sus correspondientes certificados.

Los elementos no relacionados con automoción, por su parte, se calibrarán en un laboratorio trazable o acreditado.

En Visual Factory Calibre se anotarán y se registrarán los siguientes datos:

- Fecha de realización de la calibración.
- Nombre del Laboratorio que realizó la calibración.
- Número de certificado proporcionado por el Laboratorio.
- Nombre de la persona que realiza la anotación de datos.
- Nombre de la persona que revisa los datos.
- Incertidumbre expandida obtenida por el laboratorio. Indicando el factor de cobertura K y las unidades de medida en que está expresada la incertidumbre.
- El resultado de la calibración.
- En el caso de producirse incidencias indicar su código y se anotarán las observaciones pertinentes si las hubiese.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

El periodo de calibración para los elementos de calibración externa estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de gestionar correctamente la calibración de los equipos a que sea aplicable este procedimiento.

Figura 41. Hoja 2/2 del procedimiento de calibración de elementos de calibración externa

5.3. Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos

[illegible]

Figura 42. Hoja 1/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos



Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 2 / 4

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de comparadores mecánicos, codificados como CM.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a los comparadores mecánicos con división de escala igual o superior a 0,001 mm y su alcance sea igual o inferior a 10.000*División de escala.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en una calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin que no existan errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizarán bloques patrón longitudinales de acero de calidad 1, cuyas incertidumbres estarán definidas dentro del software de medición Visual Factory Calibre, atendiendo a los valores de incertidumbre de la calibración de los bloques patrón.

Así mismo, se deberá evitar, en la medida de lo posible, la composición de varios bloques patrón. Además, se empleará una mesa de planitud que deberá estar calibrada.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba que no presenta golpes, deformaciones, oxidaciones o cualquier otra desviación que imposibilite su uso.

En caso de existir algún tipo de no-conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando éstas en el informe de calibración.

Figura 43. Hoja 2/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos



Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 3 / 4

3.4.- CALIBRACIÓN

Para realizar la calibración se colocará el comparador en un soporte en posición vertical, comprobándose visualmente la verticalidad.

La calibración incluye tres operaciones claramente diferenciadas:

- Determinación de las desviaciones para desplazamientos ascendentes.
- Determinación de las desviaciones para desplazamientos descendentes.
- Determinación de la repetibilidad del instrumento.

Se utilizarán 11 bloques patrón, para materializar 11 puntos de calibración, tanto para la escala ascendente como la descendente, que se colocarán en escalera sobre la mesa de planitud.

La diferencia entre las longitudes máxima y mínima de los bloques patrón no será inferior a 2/3 del alcance, siendo recomendable superar el valor 0,9 veces el alcance. Los restantes bloques patrón deberán poseer unas longitudes tales que determinen puntos de calibración aproximadamente equidistantes.

El "cero" del comparador se realizará sobre el bloque de menor longitud.

- Para determinar las desviaciones de la escala para los desplazamientos ascendentes se seguirá el siguiente método:
 - Primero, se ajustará el "cero" del comparador y se llevará el comparador hasta un punto muy cercano al valor mínimo de su escala.
 - Se palpará sobre el bloque de longitud mínima.
 - Se palpará sobre el bloque de longitud inmediatamente superior, repitiéndose ese proceso, hasta llegar al bloque de mayor longitud.
 - Si la división de escala es menor que 0,001 mm, se realizará el proceso anterior 3 veces, obteniendo así 3 lecturas para cada bloque patrón.
 - Si la división de escala es mayor o igual que 0,001 mm, no se repetirá el proceso.
- Para determinar las desviaciones de la escala para los desplazamientos descendentes se seguirá el siguiente método:
 - Primero, se llevará el comparador hasta un punto muy cercano al máximo de su escala sin reajustar el "cero".
 - Se palpará sobre el bloque de longitud máxima.
 - Se palpará sobre el bloque de longitud inmediatamente inferior, repitiéndose ese proceso, hasta llegar al bloque de menor longitud.
 - Si la división de escala es menor que 0,001 mm, se realizará el proceso anterior 3 veces, obteniendo así 3 lecturas para cada bloque patrón.
 - Si la división de escala es mayor o igual que 0,001 mm, no se repetirá el proceso.
- Para determinar la repetibilidad se seguirá el siguiente método:
 - Si la división de escala es menor que 0,001 mm, no será necesario realizar medidas adicionales, ya que se ha realizado más de una medida en cada punto de calibración.
 - Si la división de escala es mayor o igual que 0,001 mm, se realizarán 2 series de medidas compuestas cada una de ellas por 6 lecturas. Para realizar la primera serie se palpará el bloque de mayor longitud; y para la segunda, el bloque de menor longitud.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida del equipo.

Figura 44. Hoja 3/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos



Procedimiento de calibración de comparadores mecánicos

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 4 / 4

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada comparador mecánico cada 2 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 365 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 45. Hoja 4/4 del procedimiento de calibración de comparadores mecánicos

Ejemplo de calibración de un comparador mecánico:

Nominal mm	I. Patrón mm	Ko	Valor 1 mm	Valor 2 mm	Valor 3 mm	Valor 4 mm	Valor 5 mm	Valor 6 mm	Media mm	Desviación mm	Correc. mm	Incer. mm	k	Vef
1	0,0001	2	1,000						1,0000		0,0000	0,0058	2	9999
1,5	0,0001	2	1,490						1,4900		0,0100	0,0058	2	9999
2	0,0001	2	1,990						1,9900		0,0100	0,0058	2	9999
3	0,0001	2	3,000						3,0000		0,0000	0,0058	2	9999
4	0,0001	2	4,000						4,0000		0,0000	0,0058	2	9999
5	0,0001	2	5,000						5,0000		0,0000	0,0058	2	9999
6	0,0001	2	6,000						6,0000		0,0000	0,0058	2	9999
7	0,0001	2	7,000						7,0000		0,0000	0,0058	2	9999
8	0,0001	2	8,000						8,0000		0,0000	0,0058	2	9999
9	0,0001	2	9,000						9,0000		0,0000	0,0058	2	9999
10	0,0001	2	10,000						10,0000		0,0000	0,0058	2	9999
10	0,0001	2	10,000						10,0000		0,0000	0,0058	2	9999
9	0,0001	2	9,000						9,0000		0,0000	0,0058	2	9999
8	0,0001	2	8,000						8,0000		0,0000	0,0058	2	9999
7	0,0001	2	7,000						7,0000		0,0000	0,0058	2	9999
6	0,0001	2	6,000						6,0000		0,0000	0,0058	2	9999
5	0,0001	2	5,000						5,0000		0,0000	0,0058	2	9999
4	0,0001	2	4,000						4,0000		0,0000	0,0058	2	9999
3	0,0001	2	3,000						3,0000		0,0000	0,0058	2	9999
2	0,0001	2	1,990						1,9900		0,0100	0,0058	2	9999
1,5	0,0001	2	1,490						1,4900		0,0100	0,0058	2	9999
1	0,0001	2	1,000						1,0000		0,0000	0,0058	2	9999
10	0,0001	2	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,0000	0,0000	0,0000	0,0058	2	9999
1	0,0001	2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0058	2	9999

Posibilidad	Rango	Div. esc.	Incer.	Error	I (correc. nula)	I. máx.	Resultado	No Apto por
Exteriores	0 - 10 mm	0,01 mm	0,0058 mm(k=2)	0,01 mm	0,02 mm(k=2)	0,04 mm	Apto	

Figura 46. Ejemplo de calibración de un comparador mecánico

5.4. Procedimiento de calibración de cuñas de medición

	Procedimiento de calibración de cuñas de medición		
	Revisión: 0	Fecha: 15/05/15	Hoja: 1 / 3

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
3.1.- Condiciones ambientales.....	2
3.2.- Patrones a utilizar.....	2
3.3.- Verificación de estado.....	2
3.4.- Calibración.....	3
3.5.- Cálculos.....	3
3.6.- Criterios de aceptación y rechazo.....	3
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN.....	3
5.- RESPONSABILIDADES	3

Historial de revisiones

[illegible]

Figura 47. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición



Procedimiento de calibración de cuñas de medición

Revisión: 0

Fecha: 15/05/15

Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de cuñas de medición, codificadas como CU.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a cuñas de cualquier material que materializan entre dos de sus filos o bordes un ángulo determinado.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en una calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin que no existan errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Se utilizará como patrón para realizar la calibración una máquina de medición tridimensional (M3C a partir de ahora) que disponga de un ordenador que tenga instalado un programa de medida y cálculo, ajustada para proyectar los resultados con una división de escala de 0,001 mm.

Esta máquina deberá encontrarse calibrada y en condiciones de uso óptimas.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba que no presenta golpes, deformaciones, oxidaciones o cualquier otra desviación que imposibilite su uso.

En caso de existir algún tipo de no - conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando éstas en el informe de calibración.

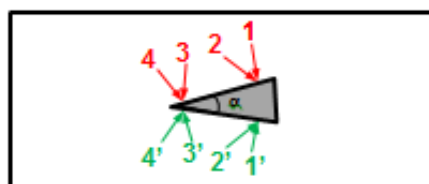
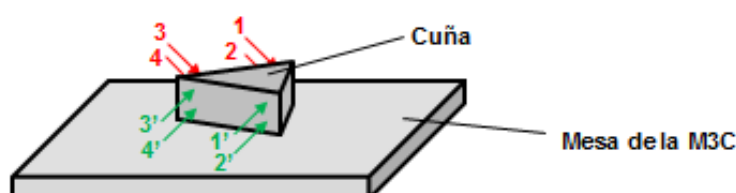
Figura 48. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición

3.4.- CALIBRACIÓN

Para la realización de la calibración se apoyará la cuña de manera que sus dos caras que forman el ángulo a medir (α) queden en un plano perpendicular a la mesa horizontal de la M3C.

Se palpará en 4 puntos diferentes para cada cara de la cuña que forma el ángulo a medir.

Se procurará que los puntos palpados en cada filo estén suficientemente alejados entre sí, para minimizar el posible error cometido, tal y como se muestra en las siguientes figuras:



Se reiterará el proceso anterior un total de 3 veces, obteniendo así, 3 valores del ángulo α que se introducirán en Visual Factory Calibre.

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si el error cometido en cada una de las medidas es menor o igual a $\pm 10'$.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada cuña de medición cada 3 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 730 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 49. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de cuñas de medición

5.5. Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad


	Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad		
	Revisión: 0	Fecha: 08/04/15	Hoja: 1 / 4

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
3.1.- Condiciones ambientales.....	2
3.2.- Patrones a utilizar.....	2
3.3.- Verificación de estado.....	2
3.4.- Calibración.....	3
3.5.- Cálculos.....	4
3.6.- Criterios de aceptación y rechazo.....	4
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN	4
5.- RESPONSABILIDADES	4

Historial de revisiones

[illegible]

Figura 50. Hoja 1/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad



Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 2 / 4

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de escuadras de perpendicularidad, codificadas como ES.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a escuadras de perpendicularidad de cualquier material y de cualquier forma que materializan entre dos de sus filos o bordes un ángulo de 90°.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en una calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin que no existan errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Se utilizará como patrón para realizar la calibración una máquina de medición tridimensional (M3C a partir de ahora) que disponga de un ordenador que tenga instalado un programa de medida y cálculo, ajustada para proyectar los resultados con una división de escala de 0,001 mm.

Esta máquina deberá encontrarse calibrada y en condiciones de uso óptimas.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba que no presenta golpes, deformaciones, oxidaciones o cualquier otra desviación que imposibilite su uso.

En caso de existir algún tipo de no - conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando éstas en el informe de calibración.

Figura 51. Hoja 2/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad

3.4.- CALIBRACIÓN

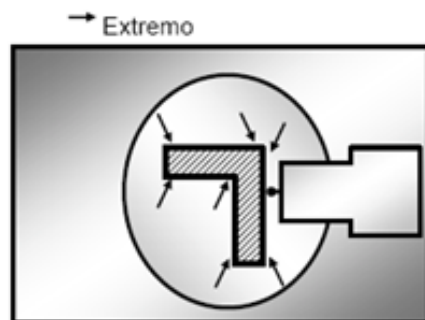
Para la realización de la calibración se pueden emplear dos métodos distintos, según el posicionamiento de la escuadra: apoyar los dos brazos de la escuadra sobre la mesa horizontal en la que se sitúa la M3C o apoyar un solo brazo en la mesa y posicionar el otro de forma vertical.

Se verán las calibraciones tanto para filos interiores como exteriores. En el caso de que la escuadra no tuviera perpendicularidad en alguno de los filos mencionados, se realizará únicamente la calibración del ángulo que forman los filos perpendiculares.

Calibración del ángulo formado por los filos exteriores o interiores, con los dos brazos apoyados sobre la mesa de apoyo de la medidora:

Se palpará en 2 puntos diferentes para cada filo exterior, y en otros 2 para cada filo interior. En total habrá 4 medidas para el exterior y otras 4 para el interior.

Se procurará que los puntos palpados en cada filo estén suficientemente alejados entre sí, para minimizar el posible error cometido.

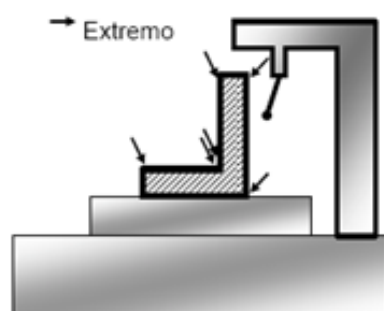


Calibración del ángulo formado por los filos exteriores o interiores, con un brazo apoyado sobre la mesa de apoyo de la medidora y el otro en posición vertical:

Para los filos exteriores, se palparán 2 puntos únicamente en el filo que se encuentra en vertical, ya que para el otro filo se desprecia la posible desviación de planitud de la mesa de apoyo.

Para los filos interiores, han de palparse 2 puntos en cada filo.

Se procurará que los puntos palpados en cada filo estén suficientemente alejados entre sí, para minimizar el posible error cometido.



Independientemente del método empleado para el cálculo de los ángulos interior y exterior, se realizará el procedimiento un total de 3 veces, obteniendo 3 valores para cada ángulo. Dichos valores se introducirán en Visual Factory Calibre.

Figura 52. Hoja 3/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad



Procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 4 / 4

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si el error cometido en cada una de las medidas es menor o igual a $\pm 20'$.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada escuadra de perpendicularidad cada 3 años.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 53. Hoja 4/4 del procedimiento de calibración de escuadras de perpendicularidad

5.6. Procedimiento de calibración de llaves dinamométricas

[illegible]

Figura 54. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas



Procedimiento de calibración de llaves dinamométricas

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de las llaves dinamométricas, codificadas como LLD.

2.- ALCANCE

Este procedimiento se aplica a las llaves dinamométricas con presentación analógica o digital que pueden trabajar a derechas y/o a izquierdas.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en una calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin que no existan errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizará como patrón un torcómetro mecánico o eléctrico.

Esta máquina deberá encontrarse calibrada y en condiciones de uso óptimas.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba el buen estado de los medios de acoplamiento para la transmisión del momento propios del instrumento, tal que aseguren una correcta aplicación del momento a medir.

Será conveniente aplicar previamente al instrumento, tres veces el momento correspondiente al alcance de la medida.

3.4.- CALIBRACIÓN

Se dividirán las llaves en dos tipos: tipo I y tipo II.

- Tipo I (de lectura directa): Llave dinamométrica de barra a torsión o flexión (clase A); de caja rígida con escala graduada, dial o visor (clase B); y de caja rígida e indicador electrónica de medida (clase C).
- Tipo II (de disparo): Llave dinamométrica regulable con escala graduada o con visor (clase A); con par de torsión fijo (clase B); regulable sin escala graduada (clase C); y con barra a flexión, regulable con escala graduada (clase G).

La calibración se efectúa midiendo simultáneamente el instrumento a calibrar y un instrumento utilizado como patrón, un momento generado por un elemento auxiliar.

La generación del momento a medir se podrá realizar de forma manual, como se hace por regla general en su empleo, o se podrá utilizar un elemento auxiliar, del tipo con denominación "máquina generadora del momento".

Los valores de par de torsión aplicados serán siempre de forma creciente no monótona; esto es, antes de aplicar el siguiente valor de par de torsión de referencia habrá que pasar por el valor de cero.

La calibración se realiza en un rango que comprenda valores desde el 20% hasta el 100% de la capacidad nominal de la llave dinamométrica.

Se elegirán al menos 3 valores de carga, repartiéndolos de forma uniforme en el rango de 20%-100% (aproximadamente al 20%, 60% y 100%).

Figura 55. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas



Procedimiento de calibración de llaves dinamométricas

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 3 / 3

Se realizarán 6 reiteraciones consecutivas para cada una de las cargas, excepto en el caso de las herramientas regulables sin escala graduada, donde se realizarán 10 reiteraciones.

Se registrará el valor una vez se estabilice la señal.

Se modificará la longitud de aplicación de carga 10 cm como mínimo siempre y cuando las características de la llave así lo permitan dentro del maneral, y se hará 1 medición por cada carga.

Notas:

- El punto de calibración se fijará, preferiblemente, por la indicación del instrumento a calibrar, deteniéndose la generación del momento cuando se alcance, según indicación sonora o mecánica o según lectura visual, para a continuación, mantenerlo estabilizado.
- En cada punto de calibración se anotará la lectura indicada por el torcómetro patrón y por el equipo a calibrar.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida del equipo.

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala y si esta no supera el 1% del valor del par de torsión aplicado.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada llave dinamométrica cada 3 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 730 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 56. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de llaves dinamométricas

5.7. Procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical


	Procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical		
	Revisión: 0	Fecha: 27/04/15	Hoja: 1 / 3

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO 1

HISTORIAL DE REVISIONES 1

1.- OBJETO 2

2.- ALCANCE 2

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN 2

 3.1.- Condiciones ambientales 2

 3.2.- Patrones a utilizar 2

 3.3.- Verificación de estado 2

 3.4.- Calibración 2

 3.5.- Cálculos 3

 3.6.- Criterios de aceptación y rechazo 3

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN 3

5.- RESPONSABILIDADES 3

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 57. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical



Procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical

Revisión: 0

Fecha: 27/04/15

Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de máquinas medidoras de una coordenada vertical, codificadas como CV.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a máquinas medidoras de una coordenada vertical (M1CV a partir de ahora) diseñadas para mediciones longitudinales, asociadas generalmente a una mesa de planitud, mediante un sistema que se basa en una regla patrón y un captador móvil.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en una calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin que no existan errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizarán bloques patrón longitudinales de acero de calidad 1, cuyas incertidumbres estarán definidas dentro del software de medición Visual Factory Calibre, atendiendo a los valores de incertidumbre de la calibración de los bloques patrón.

Así mismo, se deberá evitar, en la medida de lo posible, la composición de varios bloques patrón.

Además, se empleará una mesa de planitud que deberá estar calibrada.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

También se procederá a limpiar la mesa de planitud en su totalidad.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba que no presenta golpes, deformaciones, oxidaciones o cualquier otra desviación que imposibilite su uso.

En caso de existir algún tipo de no-conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando éstas en el informe de calibración.

3.4.- CALIBRACIÓN

Para realizar la calibración se apoyará la base de la M1CV horizontalmente sobre la mesa de planitud.

Los bloques patrón se colocarán en escalera sobre la mesa de planitud.


Se medirán 10 puntos que abarcarán la mayor parte posible del campo de medida (mínimo 3/4 veces el campo de medida), estando estos aproximadamente equidistantes entre sí.

En cada punto de medida se reiterarán 10 lecturas.

Se aconseja medir primero todos los BPLs (bloques patrón longitudinales) antes de comenzar la siguiente reiteración, para no alargar excesivamente la duración de la calibración. Así, se miden todos los BPLs y después se vuelven a medir (hasta un total de 10 reiteraciones).

Las medidas se realizarán llevando el palpador hasta que toque la mesa de planitud y, una vez haya calculado el "cero", se elevará hasta la parte superior del BPL de menor longitud. La máquina dará un valor, que es el que corresponde a la diferencia entre la parte superior de ese BPL y la parte inferior del mismo (la mesa de planitud); es decir, dará la medida de ese BPL. Después se procederá a medir el siguiente BPL, siempre en orden ascendente, hasta llegar al de mayor longitud. Una vez se haya medido el de mayor longitud, se volverá a tomar la mesa de planitud como "cero" y se procederá a realizar la segunda toma de medidas.

Figura 58. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical

	Procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical		
	Revisión: 0	Fecha: 27/04/15	Hoja: 3 / 3

Se procurará variar la posición del BPL de una toma de medida a otra, alternando la cara del BPL que queda apoyada.

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada máquina de una coordenada vertical cada 3 años.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 59. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de máquinas de una coordenada vertical

5.8. Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos


	Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos		
	Revisión: 0	Fecha: 08/04/15	Hoja: 1 / 3

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO 1

HISTORIAL DE REVISIONES 1

1.- OBJETO 2

2.- ALCANCE 2

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN 2

 3.1.- Condiciones ambientales 2

 3.2.- Patrones a utilizar 2

 3.3.- Verificación de estado 2

 3.4.- Calibración 3

 3.5.- Cálculos 3

 3.6.- Criterios de aceptación y rechazo 3

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN 3

5.- RESPONSABILIDADES 3

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 60. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos



Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de los micrómetros de exteriores de dos contactos, codificados como MC.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a micrómetros de exteriores diseñados para la medición de distancias exteriores, mediante un sistema de amplificación de tornillo micrométrico, con dos contactos, uno fijo y otro móvil unido a la cabeza micrométrica, entre las cuales ha de situarse adecuadamente el mesurando.

Se aplica para cualquier rango de medida y para valores de división de escala $E \geq 0,0005$ mm (siendo los más habituales los de división de escala de 0,001 mm y 0,01 mm), tanto de tipo analógico como digital. Normalmente los dos contactos de medida del micrómetro son planos, pero este procedimiento podría también aplicarse a otros tipos de contactos usuales en estos instrumentos, como de bola, de cuchilla, etc.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en la calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin de minimizar los errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizarán bloques patrón longitudinales de acero de calidad 1, cuyas incertidumbres estarán definidas dentro del software de medición Visual Factory Calibre, atendiendo a los valores de incertidumbre de la calibración de los bloques patrón.

Así mismo, se deberá evitar, en la medida de lo posible, la composición de varios bloques patrón.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo. Para ello se comprueba el buen funcionamiento mecánico del equipo, así como que sus escalas sean perfectamente legibles y sus contactos no presenten anomalías.

En caso de existir algún tipo de no-conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando estas en el informe de calibración.

Figura 61. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos



Procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 3 / 3

3.4.- CALIBRACIÓN

Para la calibración se materializarán con bloques patrones longitudinales 6 puntos de la escala, que incluyan el valor mínimo, el valor máximo y 4 puntos intermedios con espaciado aproximadamente uniforme. Se tomarán 5 medidas para cada punto.

Nota: En el caso de que no se disponga de un bloque patrón para materializar la medida, será posible componer la medida, aunque no se recomienda realizar una composición donde intervengan más de 3 bloques patrón.

De acuerdo con el tamaño del micrómetro se procederá a obtener las indicaciones de calibración: con micrómetros pequeños, lo más conveniente es colocarlos en un soporte y calibrar en la modalidad "instrumento fijo / pieza móvil", mientras que con micrómetros grandes, lo más conveniente es colocar el bloque patrón longitudinal sobre una placa metálica, en una mesa de trabajo y calibrar en la modalidad "instrumento móvil / pieza fija".

También es recomendable ir variando la posición del bloque patrón longitudinal respecto al micrómetro tras cada medida, entre las dos posibles.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida del equipo.

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada micrómetro cada 2 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 365 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 62. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos

5.9. Procedimiento de calibración de pies de rey


	Procedimiento de calibración de pies de rey		
	Revisión: 0	Fecha: 08/04/15	Hoja: 1 / 3

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	1
HISTORIAL DE REVISIONES	1
1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN	2
3.1.- Condiciones ambientales.....	2
3.2.- Patrones a utilizar.....	2
3.3.- Verificación de estado.....	2
3.4.- Calibración.....	2
3.4.1.- Interiores.....	3
3.4.2.- Profundidad	3
3.5.- Cálculos.....	3
3.6.- Criterios de aceptación y rechazo.....	3
4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN	3
5.- RESPONSABILIDADES	3

Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones

Figura 63. Hoja 1/3 del procedimiento de calibración de pies de rey

	Procedimiento de calibración de pies de rey		
	Revisión: 0	Fecha: 08/04/15	Hoja: 2 / 3

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de los pies de rey, codificados como PR.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a pies de rey diseñados para la medición de distancias exteriores, interiores y de profundidad.

Se aplica para cualquier rango de medida y para valores de división de escala $E \geq 0,01$ mm (siendo los más habituales los de división de escala de 0,02 mm y 0,05 mm), tanto de tipo analógico como digital.

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en la calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin de minimizar los errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Para la calibración se utilizarán bloques patrón longitudinales de acero de calidad 1, cuyas incertidumbres estarán definidas dentro del software de medición Visual Factory Calibre, atendiendo a los valores de incertidumbre de la calibración de los bloques patrón.

Así mismo, se deberá evitar, en la medida de lo posible, la composición de varios bloques patrón.

Además, se empleará una mesa de planitud que deberá estar calibrada.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo. Para ello se comprueba el buen funcionamiento mecánico del equipo, así como que sus escalas sean perfectamente legibles y sus contactos no presenten anomalías.

En caso de existir algún tipo de no - conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando estas en el informe de calibración.

3.4.- CALIBRACIÓN

3.4.1.- Exteriores

Para la calibración de esta posibilidad de medida se materializarán con bloques patrón longitudinales 5 puntos de la escala, que incluyan el valor mínimo, el valor máximo y 3 puntos intermedios con espaciamiento aproximadamente uniforme.

Se realizarán 4 reiteraciones o mediciones, procurando tomar la medida en zonas diferentes de los contactos a fin de comprobar el paralelismo de los mismos. En todos los puntos se calculará la incertidumbre debida a la repetibilidad del equipo.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida de la posibilidad de medida Exteriores.

Figura 64. Hoja 2/3 del procedimiento de calibración de pies de rey



Procedimiento de calibración de pies de rey

Revisión: 0

Fecha: 08/04/15

Hoja: 3 / 3

3.4.2.- Interiores

Se utilizará como ayuda para calibración un soporte y dos topes con caras planas, como pueden ser dos bloques patrón longitudinales o dos contactos planos comerciales. Los bloques patrón necesarios para materializar la longitud que toque, se introducirán dentro del soporte y a ambos lados del conjunto formado por los bloques se introducirán los topes.

Se tomarán 3 puntos, los cuales se medirán 3 veces cada uno. Para realizar la medición, se apoyará cada una de las caras del pie de rey sobre la cara interior de cada tope.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida de la posibilidad de medida Interiores.

3.4.3.- Profundidad

Se tomarán 3 puntos, los cuales se medirán 3 veces cada uno. Para realizar la medición, se apoyará el pie de rey sobre el conjunto de bloques patrón que materializan la longitud a medir, y se llevará la sonda de profundidad hasta que toque la mesa de planitud.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura.

De las medidas realizadas se obtendrá la incertidumbre expandida de la posibilidad de medida Profundidad.

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si la incertidumbre expandida del instrumento es menor o igual a 4 veces la división de escala.

Dicha incertidumbre la dará Visual Factory Calibre.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada pie de rey cada 2 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 365 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 65. Hoja 3/3 del procedimiento de calibración de pies de rey

[illegible]

Implementación de procedimientos de calibración en Tacoí S. Coop. 82

1.- OBJETO

El objeto de este procedimiento es proporcionar un método adecuado para la calibración de escuadras de perpendicularidad tampones cilíndricos, codificados como TC.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a tampones cilíndricos de diámetro exterior cuya tolerancia de fabricación máxima sea de 6 μm .

3.- DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN

3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES

Todo el instrumental que ha de intervenir en la calibración tiene que permanecer al menos media hora en el lugar de la misma con el fin de minimizar los errores debidos a los efectos de temperatura.

Dicho lugar permanecerá a una temperatura comprendida en el intervalo de 20 ± 2 °C.

3.2.- PATRONES A UTILIZAR

Preferiblemente, se utilizará como patrón para realizar la calibración un micrómetro exterior digital de dos contactos cuya incertidumbre (redondeada superiormente a la división de escala del instrumento) sea, como mucho, 1/3 de la tolerancia del tampón cilíndrico a calibrar.

También podrá utilizarse una máquina medidora de una coordenada vertical, en lugar del micrómetro, cuya incertidumbre sea también menor de 1/3 de la tolerancia del tampón cilíndrico.

El instrumento que se utilice como patrón deberá encontrarse calibrado y en condiciones de uso óptimas.

3.3.- VERIFICACIÓN DE ESTADO

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo. Para ello se comprueba el buen funcionamiento mecánico del equipo, así como que sus escalas sean perfectamente legibles y sus contactos no presenten anomalías.

En caso de existir algún tipo de no-conformidad con los requisitos antes citados, el operario debe comunicarla al responsable de las calibraciones para que tome las medidas oportunas, anotando estas en el informe de calibración.

3.4.- CALIBRACIÓN

Se tomarán un total de 6 puntos para cada diámetro, 2 tomas de contactos ortogonales (D1 y D2) en cada una de las 3 alturas diferentes del cilindro (a 1/4 de la altura, en el centro y a 3/4 de la altura, aproximadamente).

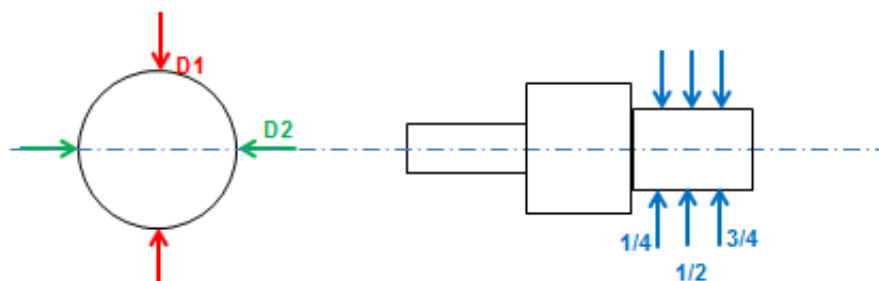


Figura 67. Hoja 2/3 del procedimiento de tampones cilíndricos



Procedimiento de calibración de tampones cilíndricos

Revisión: 0

Fecha: 22/04/15

Hoja: 3 / 3

3.5.- CÁLCULOS

Los cálculos se realizan en el software de medición Visual Factory Calibre 7.

3.6.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Además de las consideraciones del estado del equipo, un equipo se considerará apto si las medidas están dentro de la tolerancia previamente definida.

4.- PERIODO DE CALIBRACIÓN

Se realizará al menos una calibración de cada tampón cilíndrico cada 2 años o, en caso de un uso continuado del elemento, cada 365 días de uso.

El periodo de calibración para este elemento estará determinado en el software Visual Factory Calibre.

5.- RESPONSABILIDADES

El departamento de calidad es el responsable de la calibración de los equipos a los que sea aplicable este procedimiento.

Los operarios que realicen las calibraciones deben conocer y aplicar el presente procedimiento.

Figura 68. Hoja 3/3 del procedimiento de tampones cilíndricos



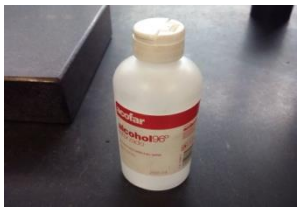



ANEXOS






ANEXO A




ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA CALIBRACIÓN DE CADA INSTRUMENTO


En las siguientes páginas se presentan los elementos necesarios a la hora de calibrar cada uno de los instrumentos.



Aparte de los incluidos en esos listados, también hay que utilizar los siguientes elementos:



COMPLEMENTOS DE CALIBRACIÓN		
Imagen	Elemento	Descripción
	Bloques patrón longitudinales	Son los paralelepípedos de acero que se utilizan como patrón
	Mesa de planitud	Apoyo de los BPLs para mantener sus superficies paralelas.
	Bote de Alcohol 96%	Empleado para realizar la limpieza de las superficies de los elementos que se empleen en la calibración
	Papel	Para frotar con alcohol sobre la superficie que se desee limpiar
	Spray de silicona	Facilita el deslizamiento de las barras cilíndricas de los instrumentos
	Termómetro de resolución de 1 °C	Con él se medirá la temperatura de la calibración



ALEXÓMETROS		
Imagen	Elemento	Descripción
	Conjunto	Vista del conjunto de la calibración
	Alexómetro	Es el elemento a calibrar
	Verificador de alexómetros	Sirve para apoyar sobre él los alexómetros y, con la manivela que tienen, hacer deslizar la barra cilíndrica que tocará con la punta del alexómetro
	Comparador mecánico	En él se pueden ver las medidas tomadas, pues la aguja que tiene gira en función de la profundidad de la punta del alexómetro.
	Guantes	Con los guantes evitaremos manchar los bloques patrón de grasa, sudor, polvo o suciedad que pudieran tener las manos.

COMPARADORES MECÁNICOS		
Imagen	Elemento	Descripción
	Conjunto	Vista del conjunto de la calibración
	Comparador mecánico	Es el elemento a calibrar
	Soporte	Evita el desplazamiento del reloj comparador al contactar con los BPLs




MÁQUINAS DE UNA COORDENADA VERTICAL		
Imagen	Elemento	Descripción
	Máquina de una coordenada vertical	Es el elemento a calibrar



CUÑAS DE MEDICIÓN		
Imagen	Elemento	Descripción
	Cuña de medición	Es el elemento a calibrar
	Máquina de tres coordenadas	Se encarga de realizar la toma de puntos para hallar el ángulo que materializan los filos de la cuña

ESCUADRAS DE PERPENDICULARIDAD		
Imagen	Elemento	Descripción
	Escuadra de perpendicularidad	Es el elemento a calibrar
	Máquina de tres coordenadas	Se encarga de realizar la toma de puntos para hallar el ángulo que materializan los filos de la cuña

LLAVES DINAMOMÉTRICAS		
Imagen	Elemento	Descripción
	Llave dinamométrica	Es el elemento a calibrar
	Torcómetro	Es el patrón sobre el que se ajusta el par deseado

MICRÓMETROS DE EXTERIORES DE DOS CONTACTOS		
Imagen	Elemento	Descripción
	Conjunto	Vista del conjunto de la calibración
	Micrómetro	Es el elemento a calibrar
	Soporte	Ayuda a mantener fijo el cuerpo del micrómetro

PIES DE REY		
Imagen	Elemento	Descripción
	Pie de rey	Es el elemento a calibrar
	Soporte	Mantiene inamovibles y en contacto los BPLs
	Topes	Exclusivos para la calibración de las bocas internas del pie de rey, para medir la longitud que materializan los BPLs que se encuentran entre los topes

TAMPONES CILÍNDRICOS		
Imagen	Elemento	Descripción
	Tampón cilíndrico	Es el elemento a calibrar
	Micrómetro digital de exteriores de dos contactos	Con él se miden los diámetros de los tampones cilíndricos

ANEXO B

CÁLCULO DEL ERROR MÁXIMO ADMISIBLE AL CONSIDERAR QUE UNA VARIABLE SIGUE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL EN LUGAR DE UNA DISTRIBUCIÓN *t-STUDENT*

Para saber cuándo se puede considerar despreciable el error cometido al tomar la distribución normal como válida, sabiendo que una variable aleatoria se distribuye según la distribución *t-Student*, tomaré como referencia el antes ya citado 5% de error.

Una vez que el error relativo de la distribución *t-Student* respecto a la distribución normal sea inferior al 5%, consideraré aceptable realizar el cambio de la primera por la segunda.

Así, si al valor del factor de cobertura dado por la distribución *t-Student* lo llamo t_p y al dado por la distribución normal, k_p , el error cometido a la hora de considerar la primera en lugar de la segunda quedará como:

$$error = \frac{t_p - k_p}{k_p} \leq 5\%$$

Pero, antes de nada, analizaré el factor de cobertura para los siguientes niveles de confianza, en una distribución normal $N(0,1)$: 68,27%, 70%, 80%, 90%, 95%, 97,5%, 99%, 99,73% y 99,99%. El factor de cobertura k_p que se obtiene de cada uno de esos niveles de confianza se recoge en la siguiente tabla:

Nivel de confianza, p	Factor de cobertura, k_p
68,27%	1
70%	1,04
80%	1,28
90%	1,64
95%	1,96
97,5%	2,24
99%	2,58
99,73%	3
99,99%	3,89

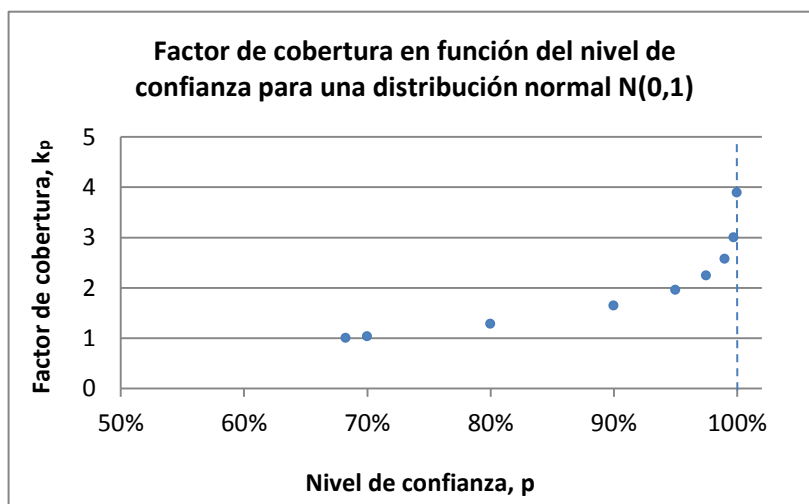


Tabla 12. k_p - p para una distribución normal $N(0,1)$

Figura 69. k_p - p para una distribución normal $N(0,1)$

Se forma una asintota vertical para el valor del 100% de confianza, ya que es imposible alcanzar una seguridad total. Así se veía reflejado este hecho en la curva que describía la densidad de probabilidad de la distribución normal, donde se apreciaban colas a ambos lados, que nunca llegaban a tocar el eje abscisa, aunque cada vez se acercase más. Esa asintota horizontal que se veía es el porqué de esta otra asintota vertical.

Además se aprecia que para valores inferiores al 68,27% de confianza, el valor k_p sería inferior a la unidad. No tendría sentido emplear un factor de cobertura menor a la unidad, pues entonces se estaría restringiendo aún más la medida, haciendo que su incertidumbre expandida fuera menor de la incertidumbre combinada, y no añadiendo margen ninguno, sino, por el contrario, quitando seguridad al valor medido.

Como era lógico, cuanto mayor nivel de confianza necesitemos, mayor factor de cobertura nos hará falta, ya que el intervalo en el que hay más posibilidades de que se encuentre el valor medido aumentará.

Paso ahora a introducir los errores que se presentan para cada nivel de confianza, en función de los grados de libertad asignados a la variable aleatoria:

Nivel de confianza: 68,27%

- Distribución normal: $k_p = 1$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	1,837	83,74
2	1,321	32,13
3	1,197	19,69
4	1,142	14,16
5	1,111	11,05
6	1,091	9,06
7	1,077	7,67
8	1,067	6,65
9	1,059	5,87
10	1,053	5,26
11	1,048	4,76
12	1,043	4,34
13	1,040	4,00
14	1,037	3,70
15	1,034	3,45
16	1,032	3,22
17	1,030	3,03
18	1,029	2,86
19	1,027	2,70
20	1,026	2,56
25	1,020	2,04
30	1,017	1,69
35	1,015	1,45
40	1,013	1,27
45	1,011	1,12
50	1,010	1,01
75	1,007	0,67
100	1,005	0,50
125	1,004	0,40
150	1,003	0,33
175	1,003	0,28
200	1,003	0,25
225	1,002	0,22
250	1,002	0,20
275	1,002	0,18
300	1,002	0,17
500	1,001	0,10
1000	1,001	0,05
∞	1,000	0,00

Tabla 13. Error en $p=68,27\%$

$$\text{Se llega al 5\% en: } \begin{cases} v = 11 \\ t_p = 1,048 \\ \text{error} = 4,76\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 70%

- Distribución normal: $k_p = 1,036$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	1,963	89,36
2	1,386	33,75
3	1,250	20,58
4	1,190	14,78
5	1,156	11,51
6	1,134	9,43
7	1,119	7,98
8	1,108	6,92
9	1,100	6,11
10	1,093	5,46
11	1,088	4,94
12	1,083	4,51
13	1,079	4,15
14	1,076	3,84
15	1,074	3,58
16	1,071	3,35
17	1,069	3,15
18	1,067	2,97
19	1,066	2,81
20	1,064	2,66
25	1,058	2,12
30	1,055	1,76
35	1,052	1,50
40	1,050	1,31
45	1,049	1,17
50	1,047	1,05
75	1,044	0,70
100	1,042	0,52
125	1,041	0,42
150	1,040	0,35
175	1,040	0,30
200	1,039	0,26
225	1,039	0,23
250	1,039	0,21
275	1,038	0,19
300	1,038	0,17
500	1,038	0,10
1000	1,037	0,05
∞	1,036	0,00

Tabla 14. Error en $p=70\%$

$$\text{Se llega al 5\% en: } \begin{cases} v = 11 \\ t_p = 1,088 \\ \text{error} = 4,94\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 80%

- Distribución normal: $k_p = 1,282$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	3,078	140,15
2	1,886	47,14
3	1,638	27,79
4	1,533	19,64
5	1,476	15,16
6	1,440	12,34
7	1,415	10,41
8	1,397	8,99
9	1,383	7,92
10	1,372	7,07
11	1,363	6,39
12	1,356	5,83
13	1,350	5,35
14	1,345	4,95
15	1,341	4,61
16	1,337	4,31
17	1,333	4,04
18	1,330	3,81
19	1,328	3,60
20	1,325	3,42
25	1,316	2,71
30	1,310	2,25
35	1,306	1,92
40	1,303	1,68
45	1,301	1,49
50	1,299	1,34
75	1,293	0,89
100	1,290	0,67
125	1,288	0,53
150	1,287	0,44
175	1,286	0,38
200	1,286	0,33
225	1,285	0,29
250	1,285	0,26
275	1,285	0,24
300	1,284	0,22
500	1,283	0,13
1000	1,282	0,07
∞	1,282	0,00

Tabla 15. Error en $p=80\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 14 \\ t_p = 1,345 \\ \text{error} = 4,95\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 90%

- Distribución normal: $k_p = 1,645$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	6,314	283,85
2	2,920	77,52
3	2,353	43,07
4	2,132	29,61
5	2,015	22,51
6	1,943	18,14
7	1,895	15,18
8	1,860	13,05
9	1,833	11,45
10	1,812	10,19
11	1,796	9,18
12	1,782	8,36
13	1,771	7,67
14	1,761	7,08
15	1,753	6,58
16	1,746	6,14
17	1,740	5,76
18	1,734	5,42
19	1,729	5,12
20	1,725	4,86
25	1,708	3,85
30	1,697	3,19
35	1,690	2,72
40	1,684	2,37
45	1,679	2,10
50	1,676	1,89
75	1,665	1,25
100	1,660	0,94
125	1,657	0,75
150	1,656	0,66
175	1,654	0,53
200	1,653	0,47
225	1,652	0,41
250	1,651	0,37
275	1,650	0,34
300	1,650	0,31
500	1,648	0,19
1000	1,646	0,09
∞	1,645	0,00

Tabla 16. Error en $p=90\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 20 \\ t_p = 1,725 \\ \text{error} = 4,86\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 95%

- Distribución normal: $k_p = 1,960$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	12,706	548,29
2	4,303	119,53
3	3,182	62,37
4	2,776	41,66
5	2,571	31,15
6	2,447	24,84
7	2,365	20,65
8	2,306	17,66
9	2,262	15,42
10	2,228	13,68
11	2,201	12,30
12	2,179	11,17
13	2,160	10,22
14	2,145	9,43
15	2,131	8,75
16	2,120	8,16
17	2,110	7,65
18	2,101	7,19
19	2,093	6,79
20	2,086	6,43
25	2,060	5,08
30	2,042	4,20
35	2,030	3,58
40	2,021	3,12
45	2,014	2,76
50	2,009	2,48
75	1,992	1,64
100	1,984	1,22
125	1,979	0,98
150	1,976	0,81
175	1,974	0,70
200	1,972	0,61
225	1,971	0,54
250	1,969	0,49
275	1,969	0,44
300	1,968	0,41
500	1,965	0,24
1000	1,962	0,12
∞	1,960	0,00

Tabla 17. Error en $p=95\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 26 \\ t_p = 2,056 \\ \text{error} = 4,88\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 95,45%

- Distribución normal: $k_p = 2$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	13,968	598,39
2	4,527	126,33
3	3,307	65,34
4	2,869	43,47
5	2,649	32,43
6	2,517	25,83
7	2,429	21,44
8	2,366	18,32
9	2,320	15,99
10	2,284	14,18
11	2,255	12,74
12	2,231	11,57
13	2,212	10,59
14	2,195	9,76
15	2,181	9,06
16	2,169	8,45
17	2,158	7,91
18	2,149	7,44
19	2,140	7,02
20	2,133	6,65
25	2,105	5,25
30	2,087	4,34
35	2,074	3,70
40	2,064	3,22
45	2,057	2,85
50	2,051	2,56
75	2,034	1,69
100	2,025	1,27
125	2,020	1,01
150	2,017	0,84
175	2,014	0,72
200	2,013	0,63
225	2,011	0,56
250	2,010	0,50
275	2,009	0,46
300	2,008	0,42
500	2,005	0,25
1000	2,003	0,13
∞	2,000	0,00

Tabla 18. Error en $p=95,45\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 27 \\ t_p = 2,097 \\ \text{error} = 4,85\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 97,5%- Distribución normal: $k_p = 2,241$ - Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	25,452	1035,53
2	6,205	176,85
3	4,177	86,34
4	3,495	55,95
5	3,163	41,13
6	2,969	32,45
7	2,841	26,76
8	2,752	22,76
9	2,685	19,79
10	2,634	17,51
11	2,593	15,69
12	2,560	14,22
13	2,533	12,99
14	2,510	11,96
15	2,490	11,09
16	2,473	10,33
17	2,458	9,67
18	2,445	9,08
19	2,433	8,57
20	2,423	8,11
25	2,385	6,39
30	2,360	5,27
35	2,342	4,49
40	2,329	3,91
45	2,319	3,46
50	2,311	3,10
75	2,287	2,05
100	2,276	1,53
125	2,269	1,22
150	2,264	1,01
175	2,261	0,87
200	2,258	0,76
225	2,257	0,67
250	2,255	0,61
275	2,254	0,55
300	2,253	0,50
500	2,248	0,30
1000	2,245	0,15
∞	2,241	0,00

Tabla 19. Error en $p=97,5\%$

Se llega a $\leq 5\%$ en: $\left\{ \begin{array}{l} v = 32 \\ t_p = 2,352 \\ \text{error} = 4,93\% \end{array} \right.$

Nivel de confianza: 99%- Distribución normal: $k_p = 2,576$ - Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	63,657	2371,31
2	9,925	285,31
3	5,841	126,76
4	4,604	78,74
5	4,032	56,54
6	3,707	43,93
7	3,499	35,86
8	3,355	30,26
9	3,250	26,17
10	3,169	23,04
11	3,106	20,58
12	3,055	18,58
13	3,012	16,94
14	2,977	15,57
15	2,947	14,40
16	2,921	13,39
17	2,898	12,52
18	2,878	11,75
19	2,861	11,07
20	2,845	10,46
25	2,787	8,22
30	2,750	6,76
35	2,724	5,74
40	2,704	4,99
45	2,690	4,42
50	2,678	3,96
75	2,643	2,61
100	2,626	1,94
125	2,616	1,55
150	2,609	1,29
175	2,604	1,10
200	2,601	0,96
225	2,598	0,86
250	2,596	0,77
275	2,594	0,70
300	2,592	0,64
500	2,586	0,38
1000	2,581	0,19
∞	2,576	0,00

Tabla 20. Error en $p=99\%$

Se llega a $\leq 5\%$ en: $\left\{ \begin{array}{l} v = 40 \\ t_p = 2,704 \\ \text{error} = 4,99\% \end{array} \right.$

Nivel de confianza: 99,73%

- Distribución normal: $k_p = 3$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	235,784	7759,52
2	19,206	540,21
3	9,219	207,29
4	6,620	120,67
5	5,507	83,57
6	4,904	63,47
7	4,530	51,00
8	4,277	42,55
9	4,094	36,47
10	3,957	31,90
11	3,850	28,33
12	3,764	25,48
13	3,694	23,14
14	3,636	21,19
15	3,586	19,55
16	3,544	18,14
17	3,507	16,92
18	3,475	15,85
19	3,447	14,91
20	3,422	14,07
25	3,330	10,99
30	3,270	9,01
35	3,229	7,64
40	3,199	6,63
45	3,175	5,85
50	3,157	5,24
75	3,103	3,44
100	3,077	2,56
125	3,061	2,04
150	3,051	1,69
175	3,043	1,45
200	3,038	1,26
225	3,034	1,12
250	3,030	1,01
275	3,027	0,92
300	3,025	0,84
500	3,015	0,50
1000	3,007	0,25
∞	3,000	0,00

Tabla 21. Error en $p=99,73\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 53 \\ t_p = 3,148 \\ \text{error} = 4,93\% \end{cases}$$

Nivel de confianza: 99,99%

- Distribución normal: $k_p = 3,891$
- Distribución *t-Student*:

Grados de libertad, v	t_p	error (%)
1	6366,198	163530,57
2	99,993	2470,11
3	28,000	619,69
4	15,544	299,53
5	11,178	187,30
6	9,082	133,44
7	7,885	102,66
8	7,120	83,01
9	6,594	69,48
10	6,211	59,64
11	5,921	52,19
12	5,694	46,37
13	5,513	41,69
14	5,363	37,86
15	5,239	34,66
16	5,134	31,96
17	5,044	29,64
18	4,966	27,63
19	4,897	25,88
20	4,837	24,33
25	4,619	18,73
30	4,482	15,21
35	4,389	12,81
40	4,321	11,06
45	4,269	9,73
50	4,228	8,68
75	4,110	5,65
100	4,053	4,18
125	4,020	3,32
150	3,998	2,76
175	3,982	2,35
200	3,970	2,05
225	3,961	1,82
250	3,954	1,64
275	3,948	1,49
300	3,944	1,36
500	3,922	0,81
1000	3,906	0,40
∞	3,891	0,00

Tabla 22. Error en $p=99,99\%$

$$\text{Se llega a } \leq 5\% \text{ en: } \begin{cases} v = 85 \\ t_p = 4,083 \\ \text{error} = 4,95\% \end{cases}$$

Recopilando los datos obtenidos para la cantidad de grados de libertad mínimos necesarios para no superar el 5%, se obtiene la siguiente tabla:

Nivel de confianza, p	Factor de cobertura, k_p	Grados de libertad, v
68,27%	1	11
70%	1,04	11
80%	1,28	14
90%	1,64	20
95%	1,96	26
95%	2,00	27
97,5%	2,24	32
99%	2,58	40
99,73%	3	53
99,99%	3,89	85

Tabla 23. Grados de libertad al alcanzar el 5% de error

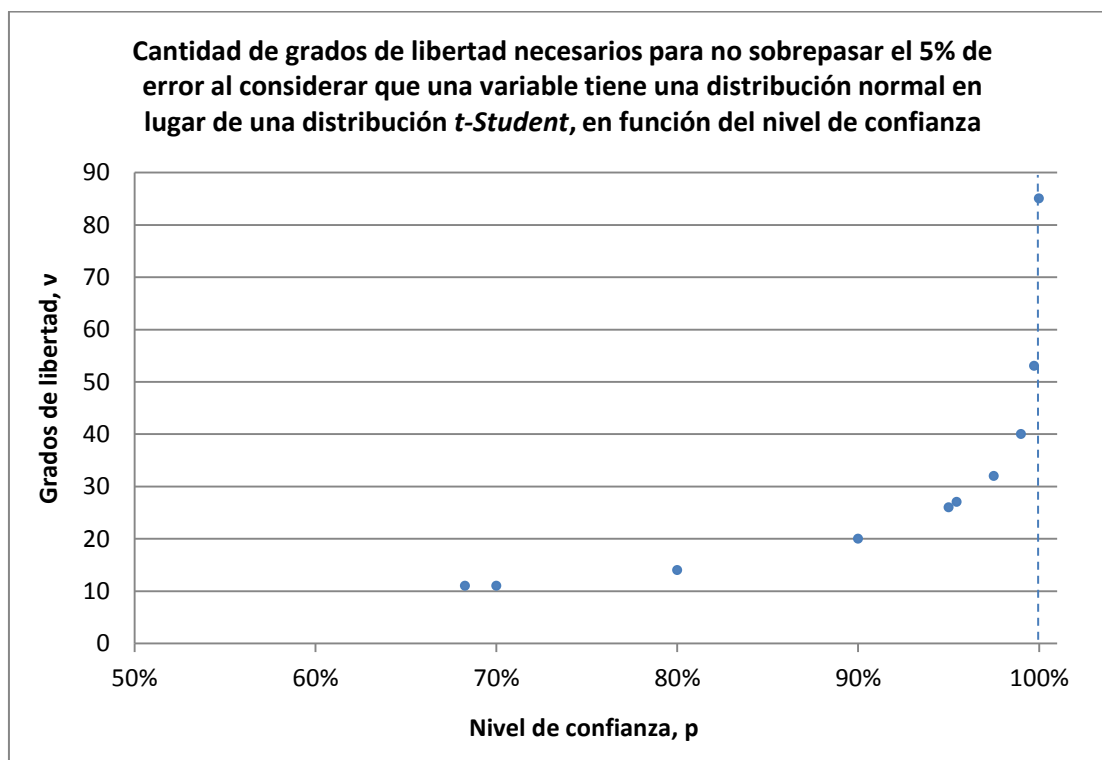


Figura 70. Gdl necesarios para no alcanzar el 5% de error en la consideración de una distribución normal en lugar de *t-Student*

Se observa que la curva esta figura tiene una similitud asombrosa con la de la [Figura 69](#). Ambas dos aumentan su valor según se aumenta el nivel de confianza pedido, siendo la pendiente de dos valores consecutivos cada vez mayor. Esta curva que se ve aquí tampoco alcanzará nunca el 100%, pues para ello debería haber infinitos grados de libertad. Por tanto, se crea una asíntota vertical en el 100%, al igual que en la figura anterior.

Se concluye también que para que la distribución *t-Student* se parezca más a la distribución normal, necesitará de más grados de libertad según se aumenta el nivel de confianza.

ANEXO C

VALOR DEL FACTOR DE COBERTURA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD DE LA VARIABLE, PARA UN DETERMINADO NIVEL DE CONFIANZA

En la siguiente tabla se recoge el resumen de los valores de t_p que aparecían en las tablas anteriores del Anexo B:

Grados de libertad, v	Factor de cobertura, t_p									
	68,27%	70%	80%	90%	95%	95,45%	97,50%	99%	99,73%	99,99%
1	1,837	1,963	3,078	6,314	12,706	13,968	25,452	63,657	235,784	6366,198
2	1,321	1,386	1,886	2,920	4,303	4,527	6,205	9,925	19,206	99,993
3	1,197	1,250	1,638	2,353	3,182	3,307	4,177	5,841	9,219	28,000
4	1,142	1,190	1,533	2,132	2,776	2,869	3,495	4,604	6,620	15,544
5	1,111	1,156	1,476	2,015	2,571	2,649	3,163	4,032	5,507	11,178
6	1,091	1,134	1,440	1,943	2,447	2,517	2,969	3,707	4,904	9,082
7	1,077	1,119	1,415	1,895	2,365	2,429	2,841	3,499	4,530	7,885
8	1,067	1,108	1,397	1,860	2,306	2,366	2,752	3,355	4,277	7,120
9	1,059	1,100	1,383	1,833	2,262	2,320	2,685	3,250	4,094	6,594
10	1,053	1,093	1,372	1,812	2,228	2,284	2,634	3,169	3,957	6,211
11	1,048	1,088	1,363	1,796	2,201	2,255	2,593	3,106	3,850	5,921
12	1,043	1,083	1,356	1,782	2,179	2,231	2,560	3,055	3,764	5,694
13	1,040	1,079	1,350	1,771	2,160	2,212	2,533	3,012	3,694	5,513
14	1,037	1,076	1,345	1,761	2,145	2,195	2,510	2,977	3,636	5,363
15	1,034	1,074	1,341	1,753	2,131	2,181	2,490	2,947	3,586	5,239
16	1,032	1,071	1,337	1,746	2,120	2,169	2,473	2,921	3,544	5,134
17	1,030	1,069	1,333	1,740	2,110	2,158	2,458	2,898	3,507	5,044
18	1,029	1,067	1,330	1,734	2,101	2,149	2,445	2,878	3,475	4,966
19	1,027	1,066	1,328	1,729	2,093	2,140	2,433	2,861	3,447	4,897
20	1,026	1,064	1,325	1,725	2,086	2,133	2,423	2,845	3,422	4,837
25	1,020	1,058	1,316	1,708	2,060	2,105	2,385	2,787	3,330	4,619
30	1,017	1,055	1,310	1,697	2,042	2,087	2,360	2,750	3,270	4,482
35	1,015	1,052	1,306	1,690	2,030	2,074	2,342	2,724	3,229	4,389
40	1,013	1,050	1,303	1,684	2,021	2,064	2,329	2,704	3,199	4,321
45	1,011	1,049	1,301	1,679	2,014	2,057	2,319	2,690	3,175	4,269
50	1,010	1,047	1,299	1,676	2,009	2,051	2,311	2,678	3,157	4,228
75	1,007	1,044	1,293	1,665	1,992	2,034	2,287	2,643	3,103	4,110
100	1,005	1,042	1,290	1,660	1,984	2,025	2,276	2,626	3,077	4,053
125	1,004	1,041	1,288	1,657	1,979	2,020	2,269	2,616	3,061	4,020
150	1,003	1,040	1,287	1,656	1,976	2,017	2,264	2,609	3,051	3,998
175	1,003	1,040	1,286	1,654	1,974	2,014	2,261	2,604	3,043	3,982
200	1,003	1,039	1,286	1,653	1,972	2,013	2,258	2,601	3,038	3,970
225	1,002	1,039	1,285	1,652	1,971	2,011	2,257	2,598	3,034	3,961
250	1,002	1,039	1,285	1,651	1,969	2,010	2,255	2,596	3,030	3,954
275	1,002	1,038	1,285	1,650	1,969	2,009	2,254	2,594	3,027	3,948
300	1,002	1,038	1,284	1,650	1,968	2,008	2,253	2,592	3,025	3,944
500	1,001	1,038	1,283	1,648	1,965	2,005	2,248	2,586	3,015	3,922
1000	1,001	1,037	1,282	1,646	1,962	2,003	2,245	2,581	3,007	3,906
∞	1,000	1,036	1,282	1,645	1,960	2,000	2,241	2,576	3,000	3,891

Tabla 24. Factor de cobertura en función de los grados de libertad y la confianza

En la tabla anterior se observa que 124 de los 390 valores que hay (31,8%) están comprendidos entre 2 y 3. Otros 163 (41,8%) son menores de 2 y 103 (26,4%) están por encima de 3.

Pero para niveles de confianza entre 90% y 99%, más de la mitad de los valores están cerca de 2. Concretamente, el 62,1% de los valores se encuentran en un rango entre 1,6 y 2,4. Este valor pasa a ser del 47,2% cuando se reduce el intervalo a 1,7-2,3.

Si calculamos la mediana de todos los valores de la tabla, esta da 2,132. Esto quiere decir que ese es el valor central del conjunto de los valores que forman la tabla.

Sin embargo, si decidimos agrupar los valores referidos a un nivel de confianza con los valores de otros niveles y formamos así tres agrupaciones diferentes según la confianza que se quiera obtener (baja, media o alta), nos podemos dar cuenta de que al agrupar los valores de 68,27%, 70% y 80% (confianza baja), la mediana resulta ser igual a 1,077; si juntamos los niveles de confianza 90%, 95% y 95,45% (confianza media), obtenemos una mediana de 2,015; y si agrupamos los valores correspondientes al 97,5%, 99%, 99,73% y 99,99% (confianza alta), la mediana es igual a 3,166.

El párrafo anterior queda resumido en la siguiente tabla, para hacerlo visualmente más comprensible:

Tipo de confianza	Niveles de confianza que agrupa	Mediana del factor de cobertura
Baja	67,28% 70% 80%	1,077
Media	90% 95% 95,45%	2,015
Alta	97,5% 99% 99,73% 99,99%	3,166

Tabla 25. Tipos de confianzas y su factor de cobertura

De la tabla se puede concluir que, según la confianza que queramos, sería recomendable utilizar uno u otro factor de cobertura. Para mayor comodidad, se pueden redondear los factores de esa tabla a 1, 2 y 3.

Cuando se tienen suficientes grados de libertad, es habitual emplear un factor de cobertura de 2, ya que suele emplearse una confianza del 95%. Sin embargo, siempre que se sepan cuántos grados de libertad se tienen y se determine un nivel de confianza, es mejor obtener de la tabla el factor de cobertura.

ANEXO D

APLICACIÓN EN EXCEL PARA LA CALIBRACIÓN DE PIES DE REY

En este anexo procederé a explicar el manejo de la aplicación que he realizado en Excel con la que se podrán calibrar pies de rey.

1. Menú principal

Al abrir el archivo Excel denominado “Calibración de pies de rey.xlsm” nos aparecerá el Menú Principal. Además, es posible que aparezca un mensaje que nos pida habilitar el contenido, pues este archivo contiene macros. Tras hacer clic sobre “Habilitar contenido”, podremos comenzar la calibración.

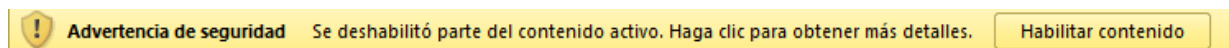


Figura 71. Habilitar contenido

En el menú principal aparecerán dos opciones: la opción de comenzar la calibración y la de acceder a la configuración de la calibración. Antes de empezar a calibrar, es necesario configurar la calibración, definiendo los parámetros que caracterizarán dicha calibración.

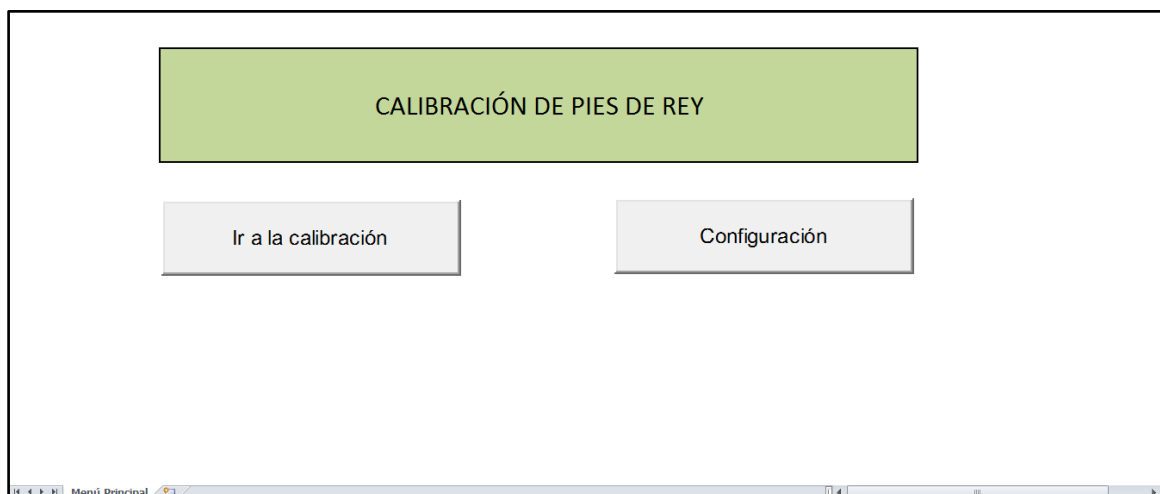


Figura 72. Menú Principal

2. Configuración de la calibración

Antes de comenzar por primera vez la calibración, habrá que determinar los parámetros que deseamos tener en cuenta, marcando las casillas correspondientes a cada uno de ellos y rellenando numéricamente las celdas que así lo requieran.

BASE DE DATOS

[Volver al Menú Principal](#)
[Ir a la calibración](#)

L _{usu} (mm)	Incertidumbre BPL _u (μm)			
	Grado 00	Grado 0	Grado 1	Grado 2
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
15				
20				
25				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
150				
200				
250				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				

Factor de cobertura, k

☒ Calcular k utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite
- Selección el nivel de confianza Confianza (%) = 95,45

☐ Definir k manualmente

Temperatura, T

☒ Aplicar tolerancia de temperatura en lugar de temperatura exacta Tol. (°C) =

☒ Considerar el efecto de la temperatura U (k=2) (°C) =

- Incertidumbre de calibración del termómetro E (°C) =

Selección de puntos de calibración

☒ Automática ☐ Manual

Nominal (mm)	Repeticiones
1	4
30	4
60	4
90	4
120	4
150	4

Nominal (mm)	Repeticiones
50	3
80	3
100	3

Nominal (mm)	Repeticiones
50	3
80	3
100	3

Efecto de errores posibles

☐ No tener en cuenta el error debido a la planitud

☐ No tener en cuenta el error debido al paralelismo

☐ No tener en cuenta el error de Abbe

☒ Valores por defecto

Efectos importantes (se recomienda dejarlo por defecto)

☐ No tener en cuenta la incertidumbre debida a la repetibilidad

☐ No tener en cuenta la incertidumbre debida a la división de escala

☐ No tener en cuenta la incertidumbre debida a los patrones

☒ Valores por defecto

Criterio de aceptación

☒ Tener en cuenta la incertidumbre máxima y la corrección de calibración máxima:
máx + Comáx

☐ Solo tener en cuenta la incertidumbre máxima

☐ Aplicar máximo desvío al nominal en cada punto

☐ Valores por defecto

Informes

Escriba abajo el nombre de la ruta donde desee guardar los informes:

Figura 73. Configuración

2.1. Tabla de incertidumbres de los BPLs

En primer lugar, deberemos rellenar la tabla de las incertidumbres de los bloques patrón longitudinales. Según la calidad que tengan esos bloques patrón, escribiremos sus incertidumbres en una u otra celda, la que corresponda. Una vez se hayan escrito todas las incertidumbres de los bloques que se dispongan, recomiendo dar clic en la casilla “Desbloquear tabla” y desmarcarla, pues así no aseguraremos de que no se añadirán ni borrarán valores sin querer. Para volver a escribir más incertidumbres o simplemente modificar las existentes, habrá de clicarse en esa casilla y activarla. He decidido no introducir bloques patrón de longitud comprendida entre 1 y 2 mm, pues a efectos prácticos, no lo he considerado útil. Todas las longitudes son comerciales.

L _{BPL} (mm)	Incertidumbre BPL, u ₀ (μm)			
	Grado 00	Grado 0	Grado 1	Grado 2
1			0,1	
2			0,1	
3			0,1	
4			0,1	
5			0,1	
6			0,1	
7			0,11	
8			0,11	
9			0,11	
10			0,11	
15				
20			0,12	
25				
30			0,12	
40				
50				
60			0,178	
70				
80				
90				
100			0,24	
150			0,37	
200				
250				
300			0,54	
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				

☐ Desbloquear
tabla

Figura 74. Tabla BPLs

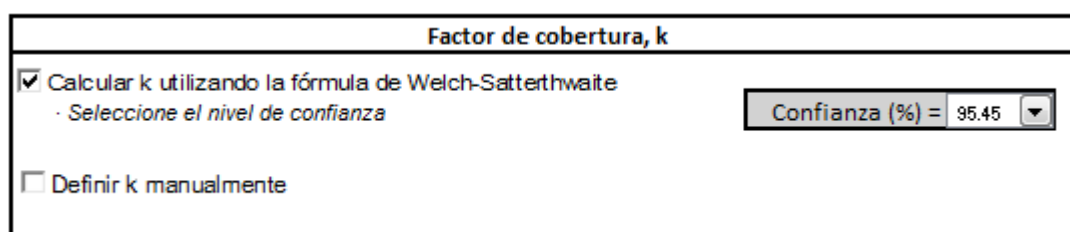
Por defecto, vendrán unas casillas marcadas y la tabla de las incertidumbres estará vacía, para obligar así al usuario a poner los valores de sus BPLs.

No será necesario rellenar toda la tabla, pues muy pocas empresas poseen todos los bloques patrón de la tabla, con sus cuatro calidades distintas (grado 00, grado 0, grado 1 y grado 2), pero sí será necesario escribir los bloques patrón que se vayan a utilizar en la calibración, ya que de no ser así, la aplicación lanzará un mensaje de error recordando que no se han introducido los valores de las incertidumbres de los BPLs utilizados.

IMPORTANTE: Es fundamental tener en cuenta que la tabla requiere valores en micrómetros, ya que así se han programado los cálculos.

2.2. Factor de cobertura, k

Aquí se seleccionará si se desea que el programa calcule automáticamente el factor de cobertura utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite y teniendo en cuenta los grados de libertad efectivos y la confianza que le demos o, si por el contrario, se desea utilizar un valor de k constante y definido por el usuario.



Factor de cobertura, k

☒ Calcular k utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite
· Seleccione el nivel de confianza

Confianza (%) = 95.45

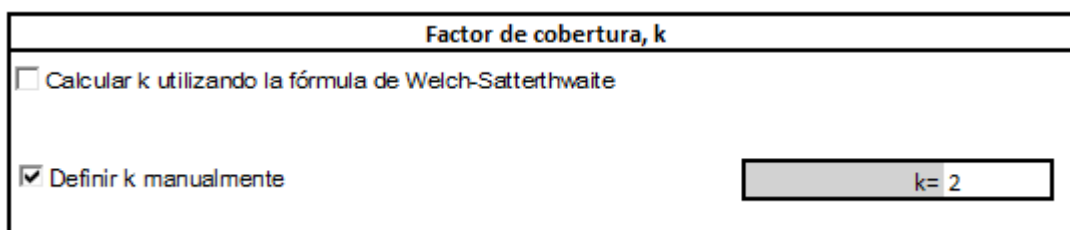
☐ Definir k manualmente

Figura 75. Factor de cobertura, Welch-Satterthwaite

Esa lista donde viene definida la confianza, abarca los siguientes valores para la misma:

68,27%, 70%, 80%, 90%, 95%, 95,45%, 99%, 99,5%, 99,73% y 99,99%.

En el caso de preferir que el programa tenga en cuenta un k constante, vendrá escrito por defecto k=2, por ser el más utilizado, pero el usuario podrá cambiarlo con solo seleccionar la celda y escribir el valor que desee.



Factor de cobertura, k

☐ Calcular k utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite

☒ Definir k manualmente

k= 2

Figura 76. Factor de cobertura, manual

2.3. Temperatura

Además, se podrá seleccionar si se desean tener en cuenta los efectos que produce la diferencia de temperaturas, así como si en lugar de escribir la temperatura exacta de la sala al realizar la calibración deseamos aplicar una tolerancia donde se encontrará esa temperatura. Dicha tolerancia será la que se desvíe de 20 °C.

Temperatura, T
<input type="checkbox"/> Aplicar tolerancia de temperatura en lugar de temperatura exacta
<input type="checkbox"/> Considerar el efecto de la temperatura

Figura 77. Temperatura

Si se decide aplicar una tolerancia en lugar de la temperatura exacta, habrá de escribirse en la celda vacía el valor de dicha tolerancia. En el siguiente ejemplo, se toma $tol = 2^{\circ}C$, lo que significa que se está tomando una temperatura de la sala de $20 \pm 2^{\circ}C$.

Temperatura, T
<input checked="" type="checkbox"/> Aplicar tolerancia de temperatura en lugar de temperatura exacta
<input type="checkbox"/> Considerar el efecto de la temperatura

Tol. (°C) = 2

Figura 78. Aplicar tolerancia de temperatura

NOTA: Si no se marca la casilla, el programa pedirá la temperatura exacta en la hoja de calibración.

Si se quiere considerar el efecto de la temperatura, se marcará dicha casilla, y se escribirán tanto la incertidumbre de calibración del termómetro como la resolución del mismo.

Temperatura, T
<input type="checkbox"/> Aplicar tolerancia de temperatura en lugar de temperatura exacta
<input checked="" type="checkbox"/> Considerar el efecto de la temperatura
· Incertidumbre de calibración del termómetro
· Resolución del termómetro

U (k=2) (°C) = 1

E (°C) = 1

Figura 79. Considerar el efecto de la temperatura

Ambas elecciones pueden confluir conjuntamente.

2.4. Puntos y repeticiones de la calibración

Este es uno de los puntos más importantes de la configuración, pues aquí se definen los puntos sobre los que se desea realizar la calibración y en cada uno de ellos cuántas repeticiones habrán de hacerse.

El programa da la opción de que se escriban automáticamente o manualmente. Si se escoge la opción automática, se bloquearán las celdas para que no puedan ser reescritas. Si, por el contrario, se elige la opción manual, se habilitarán para ser escritas y el usuario podrá escribir los puntos y repeticiones que desee.

Selección de puntos de calibración

☒ Automática
☐ Manual

Posibilidad: Exteriores	
Nominal (mm)	Repeticiones
1	4
30	4
60	4
90	4
120	4
150	4

Posibilidad: Interiores	
Nominal (mm)	Repeticiones
50	3
80	3
100	3

Posibilidad: Profundidad	
Nominal (mm)	Repeticiones
50	3
80	3
100	3

Figura 80. Selección de puntos automática

Selección de puntos de calibración

☐ Automática
☒ Manual

Posibilidad: Exteriores	
Nominal (mm)	Repeticiones
1	1
30	2
50	3
70	4
90	5
110	4
130	3
150	2

Iniciar calibración

L=150 mm

Posibilidad: Interiores	
Nominal (mm)	Repeticiones
50	2
100	2

Posibilidad: Profundidad	
Nominal (mm)	Repeticiones
30	2
110	2

Figura 81. Selección de puntos manual

Se aprecia que al seleccionar la opción manual aparecen tanto un botón como una línea que nos muestra la longitud del instrumento, para recordarnos que estamos con ese instrumento y así no escribir una longitud que se encuentre fuera del alcance del instrumento.

NOTA: No será posible escribir más de 10 puntos para cada posibilidad, ni tampoco más de 10 repeticiones en cada punto. De intentarlo, el programa lanzará un mensaje de error diciendo que no es posible y que deberemos cambiarlo para poder seguir la calibración.

2.5. Efectos de los factores que pueden afectar en la calibración

Esta sección está dedicada a elegir los factores que no se deseen tener en cuenta. Entre ellos, se encuentran los siguientes: el error debido a la planitud, el error debido al paralelismo, el error de Abbe, la incertidumbre de repetibilidad, la incertidumbre debida a la división de escala y la incertidumbre debida a los patrones.

Por defecto, se tendrán en cuenta todos esos factores, por lo que las casillas que invalidan esos efectos estarán desmarcadas.

Efecto de errores posibles
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta el error debido a la planitud
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta el error debido al paralelismo
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta el error de Abbe
<input checked="" type="checkbox"/> Valores por defecto

Efectos importantes (se recomienda dejarlo por defecto)
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta la incertidumbre debida a la repetibilidad
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta la incertidumbre debida a la división de escala
<input type="checkbox"/> No tener en cuenta la incertidumbre debida a los patrones
<input checked="" type="checkbox"/> Valores por defecto

Figura 82. Efecto de factores característicos

Un ejercicio interesante es ver cómo varía la incertidumbre cuando se marcan y desmarcan esas casillas, ya que se aprecia el efecto que tiene cada uno de esos factores.

2.6. Criterio de aceptación

Para poder decir que un instrumento es NO APTO, habrá de seleccionarse un criterio de aceptación. Las opciones que ofrece el programa son las siguientes:

Criterio de aceptación	
<input checked="" type="checkbox"/>	Tener en cuenta la incertidumbre máxima y la corrección de calibración máxima: $Im_{\max} + Cc_{\max}$
<input type="checkbox"/>	Solo tener en cuenta la incertidumbre máxima
<input type="checkbox"/>	Aplicar máximo desvío al nominal en cada punto
<input checked="" type="checkbox"/>	Valores por defecto

Figura 83. Criterio de aceptación

Las dos primeras casillas son dependientes entre sí, por lo que si se marca una se desmarcará la otra. Sin embargo, la tercera casilla podrá estar seleccionada o no estarlo. En caso de estar seleccionada, se deberá introducir el valor del máximo desvío al nominal que tendrá cada medición. Si cualquier medición superase el valor escrito, la calibración dictará que el instrumento es NO APTO.

Criterio de aceptación	
<input checked="" type="checkbox"/>	Tener en cuenta la incertidumbre máxima y la corrección de calibración máxima: $Im_{\max} + Cc_{\max}$
<input type="checkbox"/>	Solo tener en cuenta la incertidumbre máxima
<input checked="" type="checkbox"/>	Aplicar máximo desvío al nominal en cada punto
<input type="checkbox"/>	Valores por defecto
<input type="checkbox"/> Tolerancia máxima admisible en cada medida Tol. máx. (mm) = 0,3	

Figura 84. Máximo desvío al nominal

2.7. Informes

En las empresas, todo elemento que se calibre deberá tener su certificado de calibración. En el caso de calibrarlo internamente, habrá de tener un informe de la calibración que se ejecutó. Por tanto, en la siguiente celda se escribirá la dirección a la carpeta en la que se deseen guardar los informes.

Para copiar la dirección, basta con acceder a la carpeta desde el ordenador, dar clic derecho con el ratón sobre la dirección y seleccionar la opción “Copiar dirección”. El nombre de esa opción puede variar según el Sistema Operativo del equipo, pero los pasos son iguales y el nombre será parecido.

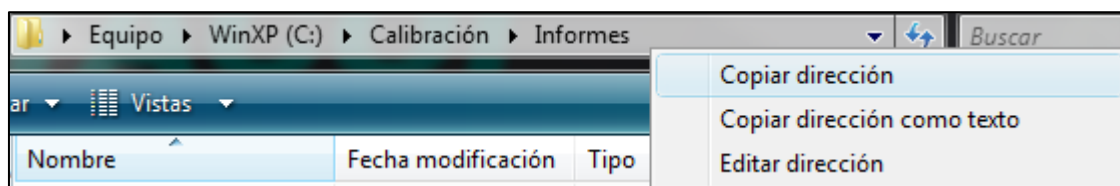


Figura 85. Copiar dirección de la carpeta de los informes

Una vez copiada la dirección, se volverá al archivo Excel y se pegará en la celda que pide la dirección.

Informes
Escriba abajo el nombre de la ruta donde desee guardar los informes:
C:\Calibración\Informes

Figura 86. Escribir dirección de la carpeta de los informes

Esta dirección podrá cambiarse siempre que se desee, pero es sumamente importante asegurarnos de que es la que deseamos, porque los informes que se generen después irán a parar a la dirección que aparezca ahí escrita.

3. Calibración

Una vez realizada la configuración y estando conformes con lo configurado, se podrá acceder a la hoja de calibración.

Para acceder a tal hoja, podemos clicar en el botón situado en la parte superior de la hoja de Configuración, o acceder a través del Menú Principal. Por comodidad, recomiendo hacerlo a través de la hoja de Configuración.



Figura 87. Iniciar calibración

Una vez clicado en cualquiera de los botones y habiendo accedido a la hoja de Calibración, se verá lo siguiente:

[illegible]

Figura 88. Hoja de calibración

Siendo consciente de que no se aprecia nada en la figura anterior, y aclarando que es una figura que simplemente muestra todo el campo de la hoja de Calibración, procederé a explicar cada parte de esta hoja y cómo se ejecutará la calibración.

Antes de comenzar la calibración se tendrá que escribir el nombre de la persona, la fecha en la que se realiza la calibración y el nombre del instrumento que se va a calibrar.

CALIBRACIÓN DE PIES DE REY	
Calibración realizada por:	Ibai Celigueta Erviti
Fecha de calibración:	13/05/2015
Identificador del instrumento:	PR123

Figura 89. Datos iniciales

La fecha de calibración aparecerá automáticamente al abrir el libro, pero se permite cambiarla por si alguna calibración estuviera hecha en otro día pero no se hubieran introducido los datos en la aplicación.

En el caso de que el instrumento no esté codificado con ningún nombre, se escribirá algo con lo que se pueda identificar el instrumento, sin riesgo de confundirlo con otro.

Estos datos aparecerán en el informe, por lo que es necesario rellenar sus celdas y que las consideremos válidas, debido a su importancia de cara a la gestión de los instrumentos y de las calibraciones.

Después, se seleccionarán las características del instrumento: escala y longitud máxima.

E (mm)	0,05	▼
L (mm)	150	▼

Figura 90. Características del elemento

Para ello, se desplegará la lista que le corresponda a cada una de ellas y se elegirá la opción que describa el instrumento en cuestión. Los valores que aparecen en la lista son los valores de los instrumentos comerciales.

Tras la elección del tipo de instrumento (escala y longitud), se seleccionará también el grado de los bloques patrón longitudinales (00, 0, 1 o 2).

Grado BPLs	1	▼
------------	---	---

Figura 91. Grado BPLs

Para finalizar la pre-calibración, se terminará escribiendo la incertidumbre máxima admisible para el instrumento, según la cual, si en la calibración resulta que la incertidumbre es mayor que ella, el instrumento será NO APTO.

En el caso de no haber seleccionado en la configuración la opción de aplicar una tolerancia de temperatura, también deberemos escribir en la hoja de calibración la temperatura a la que se realiza la misma. Esta temperatura podrá ser la media de la temperatura al inicio y al final de la

calibración, o una temperatura medida al término medio de la calibración... Será la que el encargado de la calibración mida cuando estime oportuno o cuando lo marque el procedimiento de calibración. Eso sí, solo se anotará un valor en la celda (valor puntual, o valor medio, o moda de varios valores...).

E (mm)	0,05
L (mm)	150
Grado BPLs	1
U _{máx. admisible} (mm) = 0,2	
Temperatura (°C) = 22	

Figura 92. Datos previos a la calibración

Generalmente, el resultado de la calibración no cambiará mucho si se anota 20 °C o 22 °C, por lo que con marcar la casilla de aplicación de una tolerancia para la temperatura y anotando el valor de esa tolerancia sería que suficiente.

Ahora ya se podrá comenzar la calibración. Para ello, habrá que clicar en el botón “Comenzar calibración”.

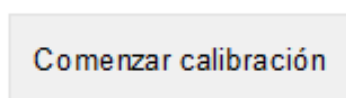


Figura 93. Botón “Comenzar calibración”

Cuando aparezca algún mensaje en un cuadro de diálogo, se deberá leer y elegir la opción que se desee. Si el mensaje fuera de advertencia o de error, se deberá corregir el error y volver a clicar sobre el botón.

Al clicar, nos preguntará si deseamos comenzar la calibración, por si se hubiera clicado sobre el botón de manera accidental. Si se desea abortar la calibración, se pulsará “No” y no habrá cambios en las celdas.

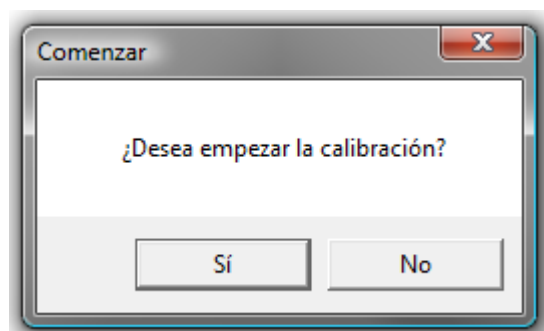


Figura 94. Mensaje para empezar la calibración

Si la división de escala no estuviera definida, lanzará un mensaje de advertencia y se cancelará la puesta en marcha de la calibración.

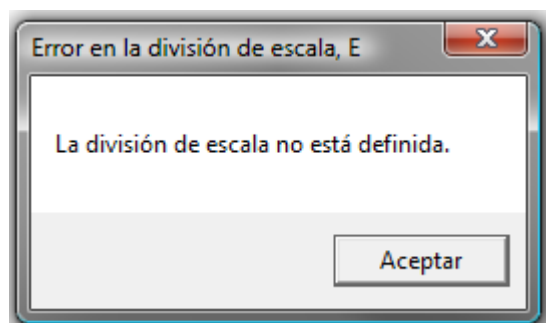


Figura 95. Mensaje de división de escala no definida

De igual modo, si la longitud no se ha definido, el programa lo avisará.

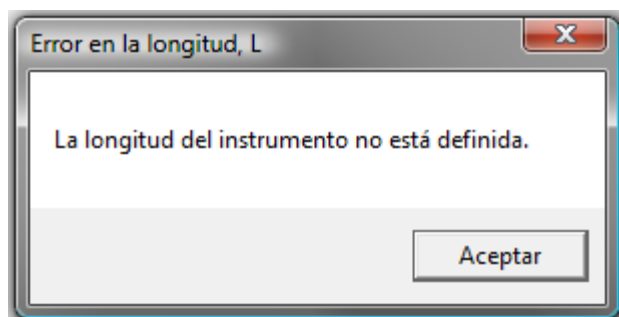


Figura 96. Mensaje de longitud no definida

También avisará si la calidad de los bloques patrón longitudinales no está definida:

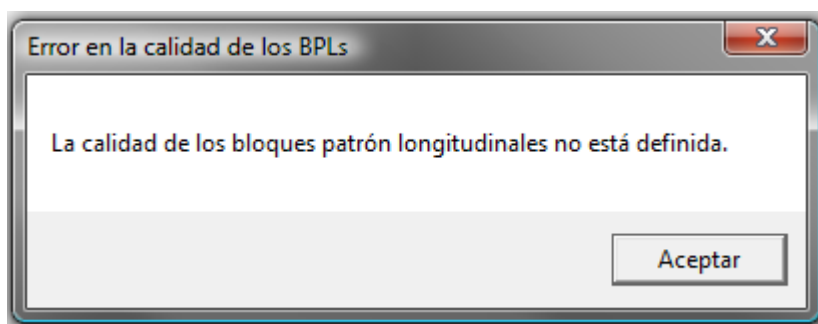


Figura 97. Mensaje de calidad de BPLs no definida

Si todo es correcto y no hay errores iniciales (si está todo definido), aparecerá el mensaje siguiente, con el que podremos elegir si dejamos que el programa seleccione puntos de calibración automáticamente o si preferimos decidir nosotros qué puntos y cuántas repeticiones elegir.

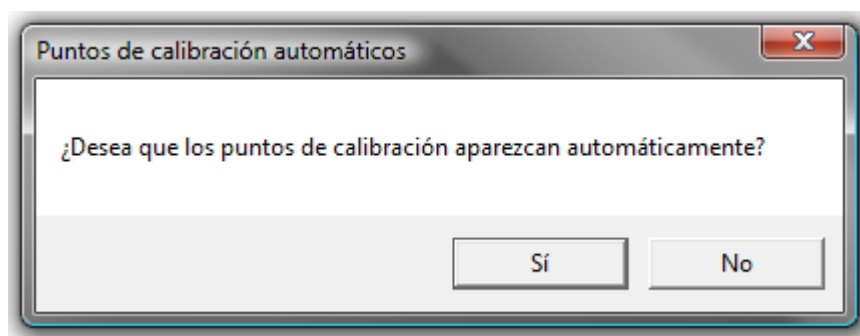


Figura 98. Mensaje puntos automáticos

Si se selecciona la opción de realizarlo de manera automática, será suficiente esperar unos pocos segundos (unos 5-10 s, aprox.) para poder empezar a escribir valores de medición.

Si, por el contrario, se elige la opción manual, la aplicación nos llevará a la hoja de configuración, donde se anotarán manualmente los puntos y repeticiones para cada punto elegidos, y aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

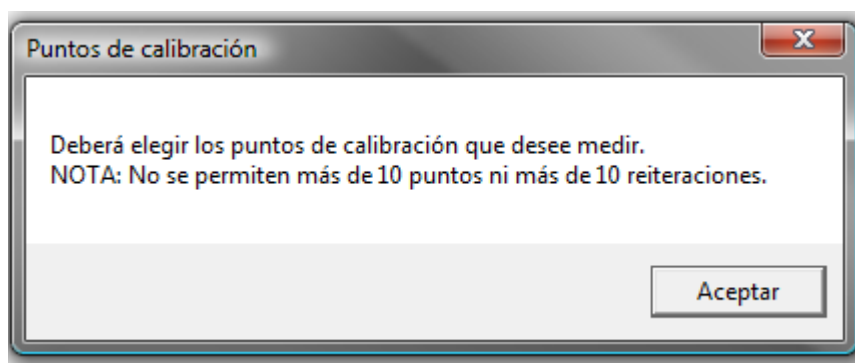


Figura 99. Mensaje de 10 puntos y reiteraciones máximas

Tras el mensaje, habrán de escribirse los valores de los puntos que se deseen medir, así como el número de repeticiones para cada uno de ellos, para las posibilidades que se quieran calibrar. Este apartado se ha explicado en el punto 2.4 de este Anexo.

Tras la anotación de puntos y repeticiones, habrá que dar clic sobre el botón que dice “Iniciar calibración” y seremos redirigidos a la hoja de calibración para poder empezar a anotar los valores de las mediciones.

Posibilidad: Exteriores					
Nominal (mm)	Bloques Patrón seleccionados				
1		▼		▼	▼
30		▼		▼	▼
60		▼		▼	▼
90		▼		▼	▼
120		▼		▼	▼
150		▼		▼	▼
		▼		▼	▼
		▼		▼	▼
		▼		▼	▼
		▼		▼	▼

Capacidad: Exteriores

Figura 101. Anotación de mediciones

[illegible]

Figura 102. Resultados de las mediciones

mensaje diciendo si la posibilidad que hem

4. Informe

Una vez obtenidos los resultados de cada posibilidad del pie de rey (Exteriores, Interiores, Profundidad), habrá de realizarse el informe de la calibración. Para ello, bastará con pulsar el botón “Generar informe” situado a la derecha de los resultados de la posibilidad Interiores.

[illegible][illegible]

Generar
informe

[illegible]

Figura 103. Botón “Generar informe”

NOTA: Para ese ejemplo he ampliado el utilizado anteriormente, añadiendo resultados a los puntos de calibración de las posibilidades Interiores y Profundidad.

Se creará un informe en Word como el que se puede ver en las siguientes hojas.

En ese informe, aparecerán los siguientes datos:

- Nombre de la persona que ha calibrado el elemento.
- Fecha de calibración.
- Nombre identificador del elemento calibrado.
- Longitud del elemento.
- División de escala del elemento.
- Temperatura de la sala.
- Incertidumbre máxima admisible.
- Bloques patrón longitudinales escogidos para cada punto de cada posibilidad.
- Resultados de la medición.
- Incertidumbre expandida de cada punto e incertidumbre expandida máxima.
- Resultado final de la posibilidad: APTO / NO APTO.



Calibración de pie de rey

Calibrado por: Ibai Celigueta Erviti

Fecha: 13/05/2015

Elemento calibrado: PR123

Resultado: APTO

Longitud: 150 mm

División de escala: 0,05 mm

Temperatura: 22 °C

Incertidumbre máxima admisible: 0,2 mm

Posibilidad: Exteriores

BLOQUES PATRÓN LONGITUDINALES SELECCIONADOS:

L (mm)	BPL1	BPL2	BPL3
1	1		
30	30		
60	60		
90	60	30	
120	100	20	
150	150		

L (mm)	Resultados, x_{ij} (mm)										U_i (mm)
1	1,05	1,05	1,05	1,05							0,05
30	30	30	30,05	30,05							0,06
60	60,05	60,1	60,05	60							0,07
90	90,1	90,05	90,05	90,05							0,06
120	120	120	119,95	120							0,06
150	150	150	150	150							0,05

$U_{máx.} (mm) = 0,13$

Resultado de la posibilidad Exteriores: APTO

Figura 104. Hoja 1 del informe



Calibración de pie de rey

Calibrado por: Ibai Celigueta Erviti

Fecha: 13/05/2015

Posibilidad: Interiores

BLOQUES PATRÓN LONGITUDINALES SELECCIONADOS:

L (mm)	BPL1	BPL2	BPL3
50	30	20	
80	60	20	
100	100		

L (mm)	Resultados, x_{ij} (mm)										U_i (mm)
50	50	50	50								0,05
80	80	80	80								0,05
100	100	100	100								0,05

$U_{máx.} \text{ (mm)} = 0,05$

Resultado de la posibilidad Interiores: APTO

Figura 105. Hoja 2 del informe



Calibración de pie de rey

Calibrado por: Ibai Celigueta Erviti

Fecha: 13/05/2015

Posibilidad: Profundidad

BLOQUES PATRÓN LONGITUDINALES SELECCIONADOS:

L (mm)	BPL1	BPL2	BPL3
50	30	20	
80	60	20	
100	100		

L (mm)	Resultados, x_{ij} (mm)										U_i (mm)
50	50	50	50								0,05
80	80	80	80								0,05
100	100	100	100								0,05

$U_{max.} (mm) = 0,05$

Resultado de la posibilidad Profundidad: APTO

El elemento es APTO

Figura 106. Hoja 3 del informe

El informe se guarda automáticamente en el destino que se le haya escrito anteriormente (ver apartado 2.7 de este Anexo).

El nombre con el que se guarda sigue el siguiente criterio:

Informe nº X - Y - (aaaa-mm-dd)

X hace referencia al número del informe. Cada informe tendrá un número más. Así, los informes serán únicos.

Y se refiere al nombre del elemento calibrado.

aaaa: Año en el que se ha realizado la calibración.

mm: Mes en el que se ha realizado la calibración.

dd: Día en el que se ha realizado la calibración.

En este caso, el informe tiene el siguiente nombre:

Informe nº 1 - PR123 - (2015-05-13)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kirkup, Les; Frenkel, Bob. *An Introduction to Uncertainty in Measurement*. Cambridge, 1 de junio de 2006. ISBN 9780521844284
- [2] Centro Español de Metrología. *Procedimiento DI-008 para la calibración de pies de rey* [en línea]. CEM, 2013. [Consulta: 25 de mayo del 2015]. Disponible en web:
<http://www.cem.es/sites/default/files/procedimientodi-008calibracion_pies_de_rey.pdf>
- [3] Centro Español de Metrología. *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida* [en línea]. CEM, septiembre de 2008. [Consulta: 25 de mayo del 2015]. Disponible en web:
<<http://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>>
- [4] M^a Mar Pérez Hernández. Estimación de incertidumbres. Guía GUM [en línea]. *e-medida. Revista Española de Metrología*. Diciembre de 2012. [Consulta: 26 de mayo del 2015]. Disponible en web:
<http://www.uv.es/meliajl/Docencia/WebComplementarios/GuiaGUM_e_medida.pdf>